

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Miha Škerbec

# **DIFERENCIALNO GPS POZICIONIRANJE**

## **DIFFERENTIAL GPS POSITIONING**

DIPLOMSKO DELO UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Ljubljana, 2009



UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Miha Škerbec

# **DIFERENCIALNO GPS POZICIONIRANJE**

## **DIFFERENTIAL GPS POSITIONING**

DIPLOMSKO DELO UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Mentor: doc. dr. Matjaž Kukar

Ljubljana, 2009



# IZJAVA O AVTORSTVU

## diplomskega dela

Spodaj podpisani/-a \_\_\_\_\_,

z vpisno številko \_\_\_\_\_,

sem avtor/-ica diplomskega dela z naslovom:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal/-a samostojno pod mentorstvom (naziv, ime in priimek)

\_\_\_\_\_

in somentorstvom (naziv, ime in priimek)

\_\_\_\_\_

- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki »Dela FRI«.

V Ljubljani, dne \_\_\_\_\_ Podpis avtorja/-ice: \_\_\_\_\_



# **Zahvala**

Za mentorstvo bi se rad zahvalil doc. dr. Matjažu Kukarju. Ravno tako bi se rad zahvalil vsem prijateljem, predvsem pa družini za izkazano moralno in finančno podporo tekom celotnega študija.





# Kazalo

Povzetek.....	1
Abstract.....	2
1    Uvod.....	3
2    Satelitski sistemi pozicioniranja .....	5
3    Sistem GPS .....	7
3.1    Segmenti sistema GPS .....	7
3.1.1    Vesoljski segment .....	7
3.1.2    Kontrolni segment.....	9
3.1.3    Uporabniški segment .....	10
3.2    GPS signali in podatki .....	11
3.3    Način določanja položaja.....	16
3.3.1    Psevdo pozicionirna meritev.....	17
3.3.2    Merjenje faze nosilnega signala.....	17
3.4    Izvori napak pri GPS.....	18
3.4.1    Orbite satelitov .....	18
3.4.2    Napaka zaradi atmosferskih motenj.....	19
3.4.3    Napaka zaradi širjenja signala po več poteh.....	20
3.4.4    Geometrija satelitov .....	21
4    Diferencialni GPS .....	25
4.1    Referenčna postaja DGPS.....	26
4.2    Mobilna postaja DGPS .....	26
4.3    Podatkovna povezava DGPS .....	27
4.4    Delovanje DGPS.....	27
4.5    Satelitski sistemi za zagotavljanje popravkov opazovanj.....	30
4.5.1    WAAS (Wide Area Augmentation System).....	31
4.5.2    EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) .....	32
4.5.3    Delovanje SBAS sistemov .....	33
4.6    Določanje položaja z referenčnimi GPS postajami .....	36
4.6.1    RTK metoda izmere.....	37
4.6.2    Omrežje SIGNAL .....	38
4.6.2.1    Infrastruktura omrežja SIGNAL.....	39
4.6.2.2    Osnovni princip delovanja omrežja SIGNAL .....	41
5    Inverzni DGPS .....	43
5.1    GPS meritve .....	43
5.2    IDGPS z uporabo psevdorazdalj.....	44
5.3    IDGPS z uporabo surove pozicije.....	45
5.4    IDGPS arhitektura.....	45
5.5    Tok podatkov .....	46
5.6    Statičen test .....	47
5.7    Mobilni test .....	51
6    Poskus izvedbe sistema za diferencialno GPS pozicioniranje.....	53
6.1    NTRIP Protokol .....	56
6.1.1    Koncept sistema.....	57
6.1.2    Elementi sistema .....	58
6.1.3    Uporaba NTRIP .....	58
6.1.3.1    Odjemalec Ntrip.....	59

6.1.3.2 Ntrip v omrežju SIGNAL.....	60
Zaključek .....	61
Priloge .....	63
Literatura .....	71

# Razlaga pojmov in kratic

<b>ALMANAH</b>	Almanah vsebuje podatke za določitev položajev vseh delujočih satelitov za mesec dni vnaprej, zato je uporabno orodje v postopku planiranja GPS-izmere.
<b>APOS</b>	Uradna kratica imena avstrijskega državnega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (angl. Austrian POsitioning Service), ki ga upravlja Avstrijski zvezni urad za kontrolo meril in zemljemerstvo (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen – BEV) na Dunaju. Z izmenjavo podatkov petih stalnih GNSS-postaj na avstrijski in petih na slovenski strani meje je vzpostavljena povezava s slovenskim omrežjem SIGNAL.
<b>BPSK</b>	Binarno kodiranje s faznim pomikom (angl. Binary Phase Shift Keying).
<b>COMPASS</b>	Kratica za kitajski satelitski sistem globalne navigacije. Ime Beidou Navigation System znano tudi kot Beidou-1 sistem je tesni system. Kitajska pa ima načrt razviti pravi globalni system, ki bo uporabljal 35 satelitov, namesto zdajšnjih 4. Novi system pa znan kot Beidou-2 ali COMPASS.
<b>DGPS</b>	Kratica metode GPS-izmere, ki upošteva princip določitve relativnega položaja v realnem času (angl. Differential Global Positioning System).
<b>DOP</b>	Merilo vpliva geometrije satelitov na nebu na natančnost določanja položaja (angl. Dilution of Precision). Manjši kot je DOP večja je natančnost meritve.
<b>EDGE</b>	Je tehnologija 3. generacije mobilne telefonije, ki omogoča hiter prenos podatkov, do 236 kbit/s (angl. Enhanced Data rates for Global Evolution).
<b>EGNOS</b>	Kratica imena evropskega satelitskega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (angl. European Geostationary Navigation Overlay System) po principu DGPS. Popravki opazovanj so posredovani preko geostacionarnih satelitov. Deluje pod okriljem Evropske vesoljske agencije (angl. European Space Agency – ESA).
<b>EFEMERIDE</b>	Efemeride (astr.): periodična publikacija s podatki o legah nebesnih teles. Termin efemeride uporabljamo za predstavitev digitalne publikacije s podatki za določitev položajev satelitov.
<b>EPN</b>	Kratica za evropsko mrežo permanentnih postaj (angl. European Permanent Network).

<b>EUREF</b>	Kratica za evropski referenčni sestav (angl. European Reference Frame).
<b>ETRS 89</b>	Kratica imena evropskega terestričnega referenčnega sistema (angl. European Terrestrial Reference System 1989). Gre za evropski geocentrični geodetski datum, sprejet s strani EUREF. Temelji na GRS 80. Letnica predstavlja trenutek oziroma epoho (1989,0), v kateri je ta geodetski datum sovpadal z ITRS 89.
<b>FAA</b>	Kratica za ameriško zvezno upravo za letalstvo (angl. Federal Aviation Administration).
<b>GALILEO</b>	Ime evropskega civilnega globalnega navigacijskega satelitskega sistema, ki ga vzpostavlja Evropska vesoljska agencija (angl. European Space Agency – ESA). Vesoljski segment bo tvorilo 30 satelitov. Predvidoma bo na voljo leta 2010.
<b>GLONASS</b>	Kratica imena ruskega vojaškega globalnega navigacijskega satelitskega sistema (angl. GLObal NAvigation Satellite System), ki ga upravlja ruska zvezna vlada oziroma Ruske vesoljske sile.
<b>GNSS</b>	Je kratica skupnega imena za globalne navigacijske satelitske sisteme (angl. Global Navigation Satellite System), kot so ameriški GPS, ruski GLONASS, evropski Galileo.
<b>GPRS</b>	Kratica za prenos podatkov v brezžičnih omrežjih (angl. General Packet Radio Service). Ena izmed možnosti za dostop do podatkov – paketni dostop.
<b>GPS</b>	Kratica imena ameriškega vojaškega globalnega navigacijskega satelitskega sistema (angl. Global Positioning System), ki deluje v okviru programa NAVSTAR, pod okriljem ameriškega ministrstva za obrambo.
<b>GSM</b>	Kratica za globalni sistem za mobilne komunikacije (iz angl. Global System for Mobile communications). Ena izmed možnosti za dostop do podatkov – klicni dostop.
<b>IAG</b>	Mednarodno združenje za geodezijo (angl. International Association of Geodesy).
<b>IDGPS</b>	Kratica za inverzni DGPS (angl. Inverse DGPS). IDGPS je nasproten koncept DGPSja.
<b>IODE</b>	Kratica za izdajo podatkov o efemeridah (angl. Issue of Data Ephemerides).
<b>IRNSS</b>	Kratica za indijski satelitski sistem globalne navigacije (angl. Indian Regional Navigational Satellite System).

<b>LORAN</b>	Kratica za navigacijo dolgega dosega (iz angl. Long Range Aid to Navigation).
<b>NAVSTAR</b>	Kratica imena ameriškega programa oziroma sistema GPS-satelitov (angl. NAVigation System with Time And Ranging). Glejte tudi GPS.
<b>NMEA</b>	Kratica za standardizirana elektronska sporočila (po ustanovi, ki jih je uvedla, tj. angl. National Marine Electronics Associations). Na primer za sporočilo o položaju GNSS-sprejemnika pri uporabi VRS.
<b>NTRIP</b>	Kratica imena protokola za razpošiljanje diferencialnih popravkov in drugih podatkov uporabnikom GNSS-tehnologij preko interneta (angl. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol). Temelji na HTTP (angl. HyperText Transfer Protocol).
<b>PDOP</b>	Kratica za vrednost, ki se nanaša na kakovost določitve položaja (angl. Position Dilution Of Precision). Izraža razmerje med napako položaja sprejemnika in napako položajev satelitov – geometrijsko je to vrednost, ki je obratno sorazmerna volumnu štiristrane piramide, ki jo tvorijo sprejemnik in štirje sateliti, ki so v času meritev nad obzorjem razporejeni najugodnejše.
<b>RINEX</b>	Kratica imena od sprejemnika neodvisnega formata zapisa GNSS-opazovanj (iz angl. Receiver Independent Exchange format). Podpira vse osnovni tipe GNSS-opazovanj.
<b>RTCM</b>	Kratica za skupno ime sklopa standardov za pomorsko navigacijo in satelitske tehnologije (po ustanovi, ki jih je uvedla, angl. Radio Technical Commission for Maritime service). Med drugimi vključuje tudi standard za diferencialni GNSS.
<b>TRK</b>	Kratica za kinematično metodo GNSS-izmere v realnem času (angl. Real Time Kinematic).
<b>SBAS</b>	Kratica skupnega imena za satelitske sisteme za zagotavljanje popravkov opazovanj (angl. Satellite Based Augmentation System), kot so evropski EGNOS, ameriški WAAS, japonski MSAS.
<b>SIGNAL</b>	Kratica imena slovenskega državnega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (SI-Geodezija-Navigacija-Lokacija) – ime slovenskega omrežja stalnih GPS-postaj. V omrežje je vključenih 15 stalnih GPS-postaj, in sicer Bodonci, Bovec, Brežice, Celje, Črnomelj, Ilirska Bistrica, Koper, Ljubljana, Maribor, Nova Gorica, Ptuj, Radovljica, Trebnje in Velika Polana.
<b>S/A</b>	Kratica za selektivno dostopnost (angl. Selective Availability).
<b>TEC</b>	Kratica za skupno število elektronov (angl. Total Electron Count).

<b>TRANSIT ali NAVSAT</b>	Prvi satelitski navigacijski sistem (angl. Navy Navigation SATellite System)
<b>UMTS</b>	Je kratica za univerzalni telekomunikacijski sistem (angl. Universal Mobile Telecommunication System). Predstavlja tretjo generacijo mobilnih telekomunikacij in je univerzalni telekomunikacijski sistem, ki omogoča občutno hitrejši prenos podatkov, uporabo novih storitev, hkraten prenos besedila, slike in zvoka, videotelefonijo, enostavnejšo in hitrejšo uporabo storitev.
<b>VPN</b>	Kratica za navidezno zasebno omrežje (angl. Virtual Private Network). Je tehnologija, ki omogoča vzpostavitev navideznega zasebnega omrežja. Na podlagi javnega omrežja, kot je internet, vzpostavi zavarovano povezavo med oddaljeno lokacijo in lokalnim omrežjem organizacije. Na ta način spremeni javno omrežje v zasebno, ki uporabniku omogoča enako povezljivost in storitve, kot v lokalnem omrežju organizacije.
<b>VRS</b>	Kratica za virtualno referenčno postajo (angl. Virtual Reference Station). Gre za eno izmed tehnik za zagotavljanje omrežnih popravkov opazovanj, in sicer glede na poljubno izbrano referenčno točko znotraj omrežja stalnih GNSS-postaj.
<b>WAAS</b>	Kratica imena ameriškega satelitskega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (angl. Wide Area Augmentation System). Razvila sta ga skupaj ameriško ministrstvo za promet ter ameriška zvezna uprava za letalstvo (angl. Federal Aviation Administration – FAA).
<b>WGS 84</b>	Kratica imena svetovnega geodetskega sistema (angl. World Geodetic System 1984). Gre za geocentrični geodetski datum, ki ga od januarja 1987 uporablja GPS. Ima svoj lasten referenčni elipsoid WGS 84.

# Povzetek

GPS postaja del našega vsakdanjika. Veliko ga uporabljamo za navigacijo na poti, za kar nam zadostujejo nizko cenovni GPS sprejemniki, ki imajo natančnost pozicioniranja 10-15 m. Na natančnost pozicioniranja vplivajo razni dejavniki, kot so: vpliv ionosfere in troposfere, širjenja signala po večjih poteh, geometrija satelitov, zaokroževanja pri računanju.

Ravno zaradi tega, se razvijajo tudi drugi sistemi, ki zmanjšajo te vplive. Predvsem v geodeziji je natančnost, ki nam jo nudi GPS signal premajhna. Tu se uporablja DGPS, ta zmanjšuje vplive s pomočjo referenčne postaje, ki je postavljena na lokacijo z znanimi koordinatami. Njena naloga je določanje korekcije, ki jo nato upoštevajo DGPS sprejemniki pri pozicioniranju. S tem dosežemo natančnost tudi pod meter natančno. Veliko težo pri tem ima oddaljenost od referenčne postaje. Zadnje čase se v geodeziji veliko uporablja tudi najnovejša metoda RTK, ki uporablja mrežo zemeljskih postaj. Te posredujejo svoje meritve centralnemu računalniku, ki opravlja analize in korekcije, ki jih lahko preko interneta pridobimo z NTRIP odjemalcem. Tudi v Sloveniji imamo tako omrežje, to je omrežje SIGNAL. Nekateri novejši GPS sprejemniki imajo ta program vgrajen že v s samem sprejemniku. Tudi v letalstvu je potrebna zelo natančna pozicija, vendar pa letala ne morejo sprejemati signala od referenčnih postaj, zato so razvili satelitske sisteme za zagotavljanje popravkov opazovanj. Tu se meritve, tako kot pri RTK metodi, pošiljajo centralnemu računalniku, ki potem pošlje svoje podatke geostacionarnim satelitom. Ti oddajajo korekcije, ki jih lahko sprejemajo tako letala kot tudi uporabniki na zemeljski obli.

Razvijajo se tudi ostale rešitve, v povezavi z nizko cenovnimi GPS sprejemniki. Inverzni DGPS je uporaben predvsem za nadzor oz. sledenje uporabnikom, kajti natančno pozicijo pozna zgolj nadzorni center, ne pa uporabnik sam. Uporabnik zgolj pošilja svoje meritve centralnemu računalniku, kateri opravlja korekcije na meritvah GPS sprejemnika.

V okviru diplomske naloge sem tudi sam poizkušal z razvojem sistema, ki bi realno časovno s pomočjo NTRIP odjemalca, pridobival korekcije in jih upošteval pri pozicioniranju.

**Ključne besede:** GPS, diferencialni GPS, RTK metoda, NTRIP, omrežje SIGNAL

# Abstract

GPS is becoming a part of everyday life. We use it to navigate while travelling, for which low-priced GPS receivers with 10-15 meters positioning accuracy suffice. Several factors influence on positioning accuracy like ionosphere and troposphere, multipath effect, satellites geometry and rounding up at calculation. Thus other systems are developed to reduce these influences. The accuracy of GPS signal is not good enough particularly in geodesy, that is why DGPS is used to reduce influences by using a reference station placed on a location with known coordinates. Its task is to define correction, which is then used by DGPS receivers when calculating positions. With this method we can achieve an accuracy of less than one meter. Distance from the reference station is crucial. The newest RTK method is commonly used in geodesy lately. It uses a network of ground based stations that forward measurements to the central computer, which analyses and corrects information. With a NTRIP client the measurements can be acquired on the internet. Such network, named SIGNAL, is also running in Slovenia. Some newer GPS receivers have a built-in programme like this. In aviation, accurate positioning is also essential. However aircrafts are unable to receive the signal from reference stations and that is why satellite based augmentation systems were developed to enable observation corrections. Like with the RTK method, measurements are sent to the central computer, which then forwards them to geostationary satellites. From here on, corrections are transmitted to aircrafts and users on the globe as well. Other low-priced GPS solutions are being developed. Inverse DGPS is useful especially to track users as the exact location is known only to control centre. The user merely sends measurements to central computer, which applies the corrections on data from GPS receiver.

As a part of my diploma assignment I tried to develop a system, which would acquire corrections with NTRIP client in real-time and use them at positioning.

**Keywords:** GPS, differential GPS, RTK method, NTRIP, SIGNAL network



# 1 Uvod

Živimo v času sodobne informacijske tehnologije, ko računalniki opravijo marsikatero delo namesto nas. Mnogokrat preden smo se odpravili na kako daljšo pot, v nam neznane kraje, iskali kje se bomo peljali, kje bomo naredili postanek. Zdaj se je na tem področju marsikaj spremenilo. Odkar so naprave za satelitsko pozicioniranje dosegljive vsem in s tem tako razširjene in priljubljene, je tudi nam veliko prihranjenega.

Zdaj se ni več potrebno se toliko obremenjevati z načrtovanjem poti, kajti v navigacijsko napravo zgolj vnesemo želeno lokacijo, kamor smo namenjeni. Naprave za satelitsko pozicioniranje nam omogočajo, tako glasovno vodenje med potjo, kot tudi grafičen prikaz poti po kateri se vozimo.

Cilj diplomskega dela je bil preučiti satelitske sisteme pozicioniranja, bolj natančno pa opisati GPS (angl. Global Positioning System) sistem in različice implementacije ter uporabe sistemov za diferencialno GPS pozicioniranje.

V diplomskem delu sem v prvem poglavju predstavil, kaj so satelitski sistemi pozicioniranja, za katere se uporablja kratica GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) in katere sisteme poznamo. Prvi začetki razvoja sistemov za določanje položaja, segajo v drugo svetovno vojno, kjer so uporabljali radio navigacijske sisteme. Za začetke GPS sistema, bi lahko šteli izstrelitev satelita Sputnik leta 1957, ki je dal ameriškim znanstvenikom dodatno inspiracijo. Ugotovili so, da mu lahko sledijo preko njegovih radijskih signalov.

V drugem delu sem bolj natančno predstavil sistem GPS. Sistem GPS sestavljajo trije osnovni segmenti, in sicer vesoljski, kontrolni in uporabniški. V vesoljski segment štejemo satelite, ki oddajajo signal in meritve GPS sprejemnikom. Meritve dobivajo iz kontrolnega segmenta. Kontrolni segment je sestavljen iz enega centralnega kontrolnega centra, ki je lociran v bazi Falcon v Colorado Springsu in še štirih opazovalnih postaj lociranih na Havajih, na otoku Ascension (Atlantski ocean), Diego Garcii (Indijski ocean), Kwajaleinu (zahodni Tihi ocean). Opazovalne postaje, razporejene vzdolž ekvatorja (Havaji, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein in glavna postaja v Colorado Springsu) spremljajo satelite in opazovanja pošiljajo v glavno kontrolno postajo v Colorado Springsu, kjer se izvaja obdelava in izračun podatkov. Podatke iz Colorado Springsa posredujejo satelitom, ki jih nato poleg opazovanj v obliki navigacijskega sporočila posredujejo uporabnikom na zemeljskem površju. Uporabniški segment pa predstavljajo GPS sprejemniki.

GPS sprejemniki določijo pozicijo med 10-15 m natančno. Na to vpliva kar nekaj dejavnikov, kot so: vpliv ionosfere in troposfere, širjenja signala po večjih poteh, geometrija satelitov, zaokroževanja pri računanju.

Ker za vse potrebe ni dovolj natančnost 10-15 m, smo prisiljeni uporabljati druge rešitve. Ena od rešitev je diferencialni GPS, ki je opisan v tretjem poglavju. DGPS sistem sestavljajo: referenčna postaja, mobilna postaja in podatkovna povezava. Pri DGPS je referenčna postaja postavljena na lokacijo z znanimi koordinatami. Njena naloga je določanje korekcije, ki jo nato upoštevajo druge postaje z neznano pozicijo. Korekcije se prenašajo po podatkovni

povezavi do mobilne postaje, katera uporabi korekcije in s tem izboljša natančnost svoje pozicije tudi do metra natančno.

Ker pa DGPS sistema v taki obliki ne moremo vedno uporabljati, predvsem ne v letalstvu, so se razvili satelitski sistemi za zagotavljanje popravkov opazovanj. Princip je podoben kot pri DPGS sistemu s to razliko, da so opazovanja iz referenčnih postaj poslana v kontrolni center, kjer se opravijo izračuni in se nato korekcijski podatki pošljejo geostacionarnim satelitom, kateri potem posredujejo popravke uporabnikom.

Tudi v geodeziji je potrebno imeti precej natančne meritve. Tu se veliko uporablja poleg diferencialnega sprejemnika tudi najnovejša metoda imenovana RTK (angl. Real Time Kinematic), ki ravno tako uporablja mrežo zemeljskih postaj. Tu se podatki baznih postaj, ki se pošiljajo centru za analizo, ne posredujejo geostacionarnim satelitom, pač pa so korekcijski podatki dosegljivi preko interneta, kjer jih zajema odjemalec NTRIP. Te korekcijske podatke lahko nato uporabimo za natančnejše določanje pozicije. Nekateri GPS sprejemniki imajo take odjemalce že vgrajene v GPS sprejemnikih.

Poznamo tudi inverzne sisteme DGPS-ja (IDGPS), ki je opisan v četrtem poglavju. Tu sprejemnik sporoča svojo pozicijo in meritve glavni postaji, ta popravlja pozicijo s korekcijami iz referenčne postaje, ki spremlja satelite. Natančna pozicija je znana samo sistemu in ne sprejemniku.

Tudi sam sem poskušal narediti sistem za izvedbo diferencialno GPS pozicioniranje, ki bi izkoriščal za pridobitev diferencialnih popravkov slovensko omrežje SIGNAL. Popravke bi pridobival z odjemalcem NTRIP, te nato obdelal ter uporabil na podatkih, ki bi jih pridobil iz GPS sprejemnika.

## 2 Satelitski sistemi pozicioniranja

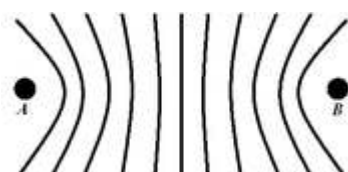
V uporabi več satelitskih sistemov pozicioniranja. Najbolj uporabljen je ameriški GPS, svoje sisteme pa imajo razvite tudi druge države. Ameriški GPS in ruski GLONASS sta bila primarno razvita za vojaške potrebe. GPS je sedaj razširjen tudi za civilno rabo, medtem ko se ruski še vedno uporablja zgolj za vojaške namene. EU je začela z razvojem lastnega sistema, z imenom GALILEO, ta naj bi prišel v uporabo do leta 2010. Za satelitske sisteme pozicioniranja se uporablja kratica GNSS (angl. Global Navigation Satellite System).

V razvojni fazi sta še dva sistema, kitajski COMPAS in indijski IRNSS. GPS je zaenkrat edini sistem za navigacijo, ki popolnoma deluje.

GPS (angl. Global Positioning System) je satelitski sistem pozicioniranja, ki je bil razvit s strani obrambnega ministrstva ZDA za potrebe ameriške vojske. Njegovo polno ime je NAVSTAR GPS (angl. Navigational Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System).

Sistem GPS je bil razvit iz radio navigacijskega sistema. Prvi radio navigacijski sistem je bil razvit leta 1940 in bil uporabljen med drugo svetovno vojno. Primer še delujočega radio navigacijskega sistema je LORAN.

Radio navigacijski sistem deluje s pomočjo dveh fiksni oddajnikov in sprejemnika. Ko sprejemnik izmeri razdalje do oddajnikov, s tem ugotovi svojo pozicijo.



Slika 1: Princip delovanja radio navigacijskega sistema

Sistem LORAN sestavljata dva oddajnika A in B ter sprejemnik. Sprejemnik se nahaja na območju, kjer lahko sprejme signal obeh oddajnikov. Ko sprejemnik ugotovi razdaljo do obeh oddajnikov, s tem ugotovi, kje se nahaja glede na oddajnika.

Za začetke GPS sistema bi lahko šteli izstrelitev satelita Sputnik leta 1957, ki je dal ameriškim znanstvenikom dodatno inspiracijo. Ugotovili so, da mu lahko sledijo preko njegovih radijskih signalov.

Leta 1964 so ameriške podmornice začele uporabljati metodo pozicioniranja, znano pod imenom TRANSIT sistem GPS [3]. Potreboval je le en viden satelit, zaradi tega je lahko branje potekalo približno le na vsakih 35-45 minut, pod pogojem da so podmornice mirovale.

31. maja, leta 1967 je ameriška mornarica izstrelila satelit TIMATION I, ki je bil izboljšava sistema TRANSIT. V TIMATION I so vgradili atomsko uro, ki je uporabniku povedala čas, v katerem signal zapusti satelit in pride do sprejemnika. Uporabnik je tako poznal oddaljenost od satelita. Kljub temu, da je bil sistem TRANSIT pomemben korak naprej v GPS tehnologiji, je imel precej napak, kot sta slaba natančnost in pogosta nezanesljivost. V zgodnjih 70.-ih je ameriška vojska začela s programom, kasneje znanim pod imenom NAVSTAR GPS program.

Raziskave in razvoj sistema Navstar so se začeli v letu 1973. Sistem je ponujal več satelitov za navigacijo. Povečala se je dostopnost in zmanjšal čas branja signala mobilnim sprejemnikom. Prvi štirje sateliti Navstarjevega »ozvezdja« so bili izstreljeni leta 1978. Danes sistem Navstar obsega 24 satelitov, ki obkrožijo oblo vsakih 11 ur 58 minut.

Zelo pomembno leto za sistem GPS je leto 1983, takrat je sistem GPS postal dostopen tudi za civilno uporabo. Ta signal je bil sicer moten s selektivnim dostopom (angl. Selective Availability - SA), kateri je umetno povzročil napako na uri satelita, tako da se je njegova natančnost zmanjšala na približno 100 m. To aplikacijo so izklopili 1. maja 2000, ko je bil omogočen tudi civilnim uporabnikom dostop do popolnega signala L1. Tako je iz natančnosti 100 m prešel na natančnost 10 - 15 m.

Kot je bilo že povedano, je GPS sistem edini popolnoma delujoči sistem za navigacijo, zato bom v naslednjem poglavju predstavil iz katerih segmentov je sestavljen, kaj vpliva na natančnost določanja položaja, kateri podatki se pošiljajo in kakšna je njihova struktura.

## 3 Sistem GPS

GPS je satelitski navigacijski sistem, ki se uporablja za določanje natančnega položaja in časa kjerkoli na Zemlji.

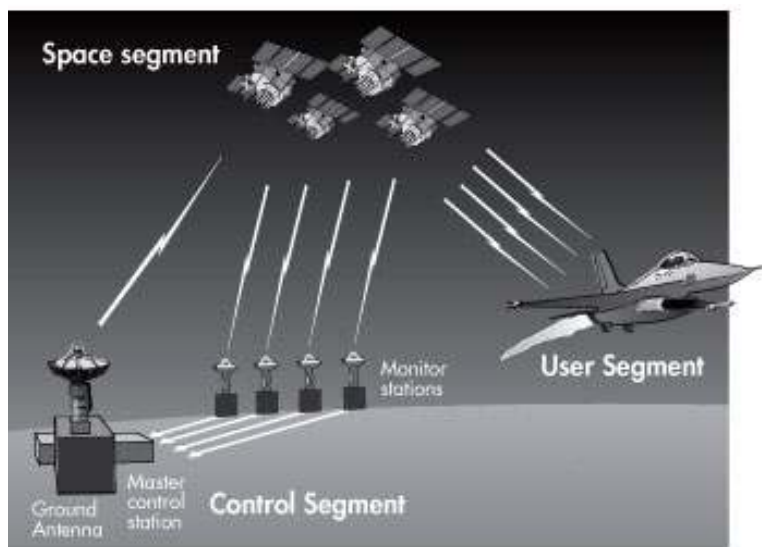
Sistem GPS je zasnovalo obrambno ministrstvo ZDA, ki ga tudi upravlja. Uporablja ga lahko vsak, ki ima ustrezen sprejemnik.

Razdeljen je na tri odseke: vesoljskega, nadzornega in uporabniškega.

Cena vzdrževanja sistema je okrog 400 milijonov ameriških dolarjev na leto, to vključuje tudi zamenjavo odslužjenih satelitov. Prvi od 24 satelitov, ki trenutno sestavljajo sistem, je bil utirjen 14. februarja 1989.

### 3.1 Segmenti sistema GPS

GPS sistem je sestavljen iz treh segmentov, in sicer vesoljski, kontrolni in uporabniški.

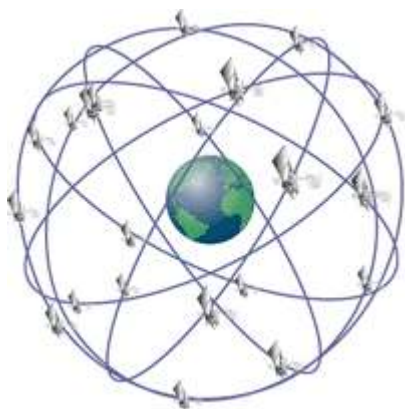


Slika 2: Segmenti sistema GPS

#### 3.1.1 Vesoljski segment

Najprej je bilo načrtovano, da bo sistem GPS sestavljalo 24 satelitov, v 3 orbitalnih ravninah, v vsaki ravnini po 8 satelitov. Kasneje je prišlo do spremembe. Danes imamo 6 orbitalnih ravnin, v vsaki so 4 sateliti, kot je prikazano na sliki 2. Sateliti so med seboj razmaknjeni za  $60^\circ$  in so nagnjeni za približno  $55^\circ$ , glede na ekvatorialno ravnino. Sateliti imajo hitrost 4

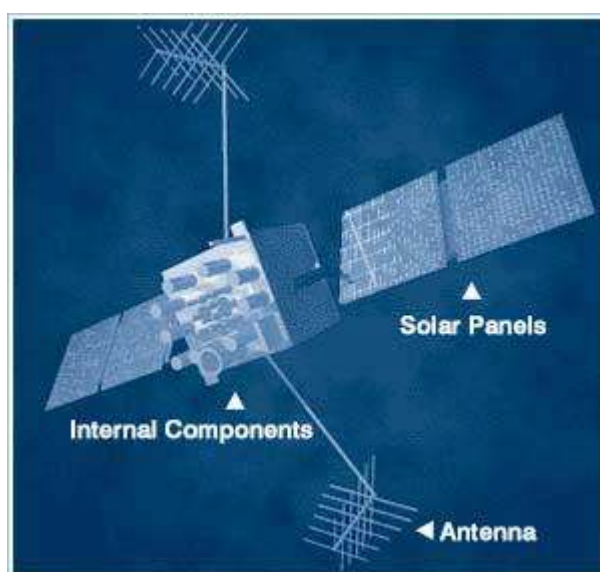
km/s. Orbite so na višini 20200 km. Načrtovane so tako, da se iz skoraj vsake točke na Zemlji vidi vsaj 6 satelitov. Od septembra 2007 je aktivnih 31 satelitov, ti izboljšujejo natančnost izračuna koordinate, hkrati pa predstavljajo rezervo, v primeru okvare satelita. Sateliti obkrožijo Zemljo približno dvakrat dnevno oz. vsakih 11 ur in 58 minut. [13]



Slika 3: Razporeditev tirnic in satelitov

Satelit je sestavljen iz:

- **Sončnih celic**  
Vsak satelit je opremljen z sončnimi celicami, katere zajemajo sončno energijo s pomočjo katere se sateliti napajajo.
- **Zunanjih delov**  
Zunanost satelita je sestavljena iz različnih anten. Signali, ki jih generira radio oddajnik so poslani GPS sprejemnikom preko anten. Vsak izmed 24 satelitov pošilja svojo unikatno kodo v signalu.
- **Notranjih komponent**  
Vsak satelit ima 4 atomske ure, ki so natančne na nanosekundo.



Slika 4: Komponente satelita

Obstajajo štiri kategorije GPS satelitov, do sedaj so bili lansirani sateliti dveh kategorij. Prvi satelit kategorije Block I je bil lansiran februarja 1978 iz zračne baze Vandenburg v Kaliforniji [3]. Do leta 1985 je bilo lansiranih 10 satelitov te kategorije. Noben satelit kategorije Block I danes ne deluje več, z izjemo enega, ki se izmenično vklaplja in izklaplja. Načrtovana življenjska doba teh satelitov znaša 4,5 leta. Glavna razlika med temi sateliti in sateliti kasnejše generacije je, da pri prvih satelitih ni bilo mogoče signale degradirati za civilno uporabo. Omeniti velja, da ima civilni GPS manjšo natančnost kot vojaški. Nenatančnost je namreč namenoma vnesena, kot bomo videli pri naslednji kategoriji satelitov.

Druga kategorija GPS satelitov se imenuje Block II. Te so pričeli lansirati leta 1985. Ti sateliti imajo možnost degradiranja signala za civilno uporabo, načrtovani pa so za dobo 7.5 let. Najprej so načrtovali, da jih bodo vtirili s pomočjo raketoplana Space Shuttle, vendar so morali načrt zaradi katastrofalne nesreče raketoplana leta 1986 spremeniti, tako da sedaj satelite vtirjajo s pomočjo rakete Delta II.

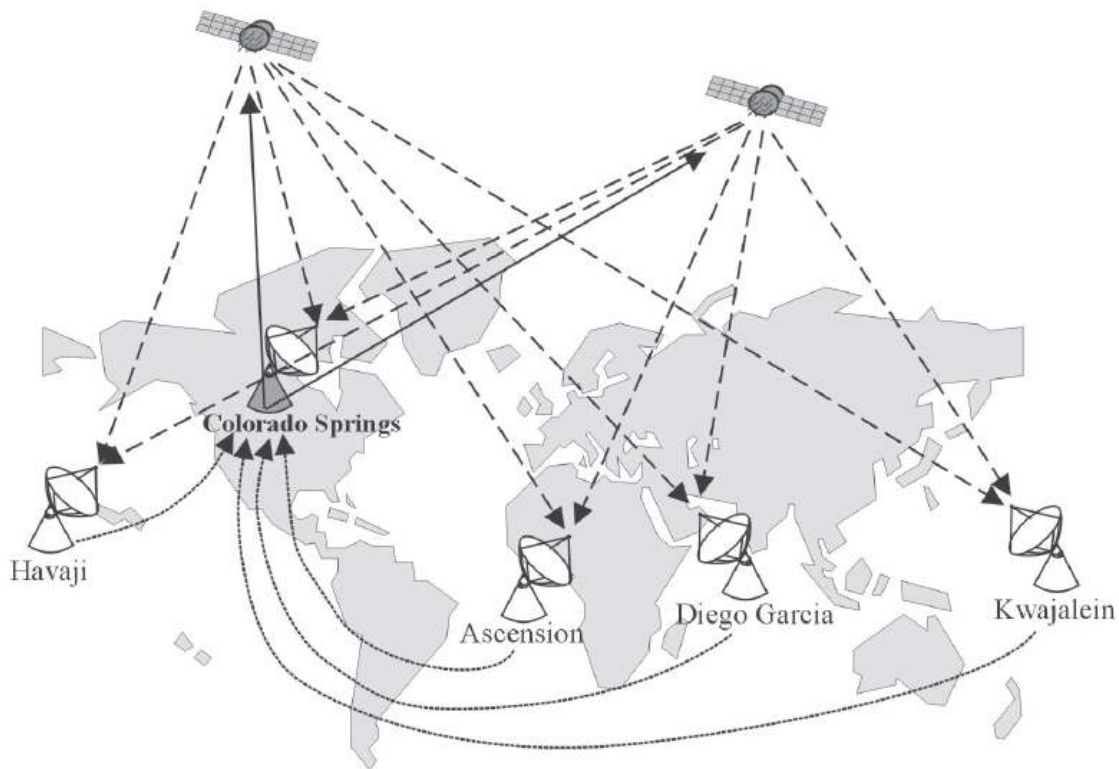
Verzija satelitov Block IIR je bila razvita za življenjsko dobo 10 let, sateliti te vrste pa omogočajo medsebojno komunikacijo. Lansirani so bili po letu 1996, njihova poglavitna naloga pa je vzdrževanje popolne konstelacije. Sistem je z omejenimi začetnimi zmožnostmi pričel delovati 8. decembra 1993, ko je v orbiti že delovalo 24 satelitov kategorij Block I, II in IIA. Pričetek popolnega delovanja sistema GPS pa je 17. julij 1995.

### 3.1.2 Kontrolni segment

Segment je sestavljen iz enega centralnega kontrolnega centra, ki je lociran v bazi Falcon v Colorado Springsu in še štirih opazovalnih postaj lociranih na Havajih, na otoku Ascension (Atlantski ocean), Diego Garcii (Indijski ocean), Kwajaleinu (zahodni Tihi ocean). V avgustu in septembru leta 2005 je bilo dodanih še 6 opazovalnih postaj agencije NGA (National Geospatial-Intelligence Agency).

Sateliti oddajajo opazovanja na nosilnih frekvencah L1 (1575.42 MHz) in L2 (1227.60 MHz), ki jih poleg uporabnikov prejemajo tudi opazovalne postaje, razporejene vzdolž ekvatorja (Havaji, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein in glavna postaja v Colorado Springsu). Ta opazovanja pošiljajo v glavno kontrolno postajo v Colorado Springsu, kjer se izvaja obdelava in izračun podatkov efemerid satelitov za vsaj 24 ur vnaprej. Podatke efemerid iz Colorado Springsa posredujejo satelitom, ki jih ti nato poleg opazovanj v obliki navigacijskega sporočila posredujejo uporabnikom na zemeljskem površju. Efemeride vsebujejo podatke o satelitih. Zajemajo parametre s pomočjo katerih lahko izračunamo položaj satelita ob določenem času.

Glavna kontrolna postaja vsakemu satelitu posreduje zanj značilne podatke ter del podatkov, ki se nanašajo na vse satelite (almanah). Zaradi morebitnih komunikacijskih težav med kontrolnim in vesoljskim segmentom satelitom dodatno posreduje tudi podatke za nekaj tednov vnaprej. Ko sateliti dobijo vsebino podatkov efemerid, jo po delih posredujejo uporabnikom.



Slika 5: Razporeditev zemeljskih kontrolnih postaj in potek pretoka podatkov

### 3.1.3 Uporabniški segment

Segment je sestavljen iz množice sprejemnikov, ki obdelajo podatke dobljene iz satelitov in iz teh izračunajo položaj, hitrost in čas.

GPS sprejemnik more opravljati naslednje:

- izbrati enega ali več satelitov v vidnem polju,
- sprejeti in dekodirati GPS signale,
- meriti signale in slediti satelitom,
- določiti navigacijske podatke iz GPS signalov.



## 3.2 GPS signali in podatki

Vsak satelit neprekinjeno pošilja signal s podatki o satelitu.

GPS sateliti oddajajo dva signala, ki jih lahko uporabljamo za pozicioniranje. Razlog za uporabo dveh signalov različnih frekvenc je izločanje napak, ki nastanejo zaradi ionosferske refrakcije. Signala, ki sta generirana iz skupnega osnovnega izvora ure frekvence  $f_0 = 10.23$  MHz sta L1 pri 1575.42 MHz in L2 pri 1227.60 MHz. Imenujemo ju tudi nosilca, oziroma nosilna signala.

$$f_{L1} = 154 f_0 = 1575.42 \text{ MHz}$$

$$f_{L2} = 120 f_0 = 1227.60 \text{ MHz}$$

Ti dve osnovni frekvenci sta potem modulirani z navidezno naključno sekvenco 0 in 1 oziroma PRN(angl. Pseudo Random Noise) kodo in navigacijskim sporočilom. Tehnika se imenuje široko spektrovnna modulacija in omogoča simultano oddajanje posameznih satelitov brez da bi se motili med sabo in brez, da bi bili moteni od signalov drugih virov.

Signali so sestavljeni iz treh delov:

- **Nosilni val (angl. Carrier)**

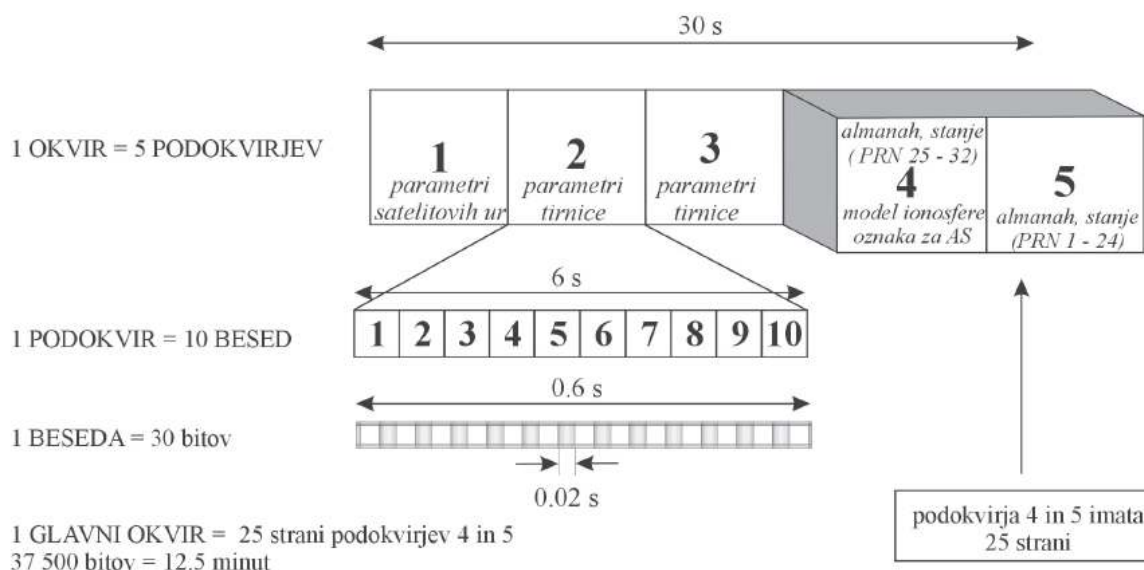
Nosilna signala imata čisto sinusno obliko in ju zato ne moremo enostavno uporabiti za pozicionirne namene, temveč ju pri GPS moduliramo z dvema binarnima kodama. To sta C/A (angl. Coarse Acquisition) koda in P (angl. Precise) koda.

- **Podatki o navigaciji**

Navigacijsko sporočilo je 50 bps koda (50 bitov v sekundi), modulirana na nosilni valovanji vsakega satelita z drugimi kodami. Gre za telemetrično sporočilo, kjer oddaja podatkov poteka 30 sekund v logičnih enotah, imenovanih okvirji (dolžina je 1500 bitov). Satelit odda okvir navigacijskega sporočila vsako minuto oziroma na polovico minute, odvisno od tipa vgrajenih ur.

Okvir navigacijskega sporočila sestavlja 5 podokvirjev, dolgih 300 bitov (slika 6). Podokvirji 1, 2 in 3 vsebujejo podatke o stanjih satelitovih ur ter podatke oddanih efemerid. Ti podatki so specifični za posamezne satelite, kar pomeni, da satelit oddaja izključno lastne podatke. Vsebina podatkov podokvirjev 1, 2 in 3 je enaka za vse zaporedne okvirje posameznega satelita za periodo dveh ur. Nove podatke sateliti začnejo oddajati vsako uro ali vsaki dve uri. V splošnem podokvir 1 vsebuje koeficiente polinoma druge stopnje, ki jih potrebujemo za izračun urinih tekov satelitovih ur. Podokvirja 2 in 3 vsebujeta parametre tirnice. Podokvirja 4 in 5 sta za vse satelite enaka, vendar po vsebini podatkov specifična, saj ima vsak podokvir naslednjega okvirja drugačno vsebino podatkov. Da dobimo navigacijsko sporočilo v popolni obliki, moramo s sprejemnikom sprejeti 25 zaporednih okvirjev navigacijskega sporočila (ker vsak okvir vsebuje drugačne podatke v podokvirjih 4 in

5), kar traja 12.5 minut. Satelit prične oddajati enak niz vsebine novih podatkov v sporočilih 4 in 5, ko dobi nove podatke iz glavne kontrolne postaje.[12]



**Slika 6: Struktura navigacijskega sporočila**

Podokvir sestavlja 10 besed, dolgih 30 bitov (6 sekund). Prvih šest bitov je namenjenih usklajevanju. 24 bitov v besedah od 3 do 10 je rezerviranih za vsebino podatkov efemerid. Besedi 1 in 2 imata v vsakem podokvirju enako obliko zapisa podatkov. Prvih 8 bitov v besedi 1 je namenjenih sinhronizaciji sprejemnika, za pravilno dekodiranje vsebine podatkov navigacijskega sporočila. Beseda 2 vsebuje zaokroženi Z-števec – to je števec za čas, določen glede na satelitove ure, in opisuje konec podokvirja, ki ga GPS-satelit trenutno oddaja (popolno Z-štetje ima faktor 1.5 sekunde in je ena izmed osnovnih enot GPS-časa).

Iz glavne kontrolne postaje so novo posredovani podatki navigacijskega sporočila zapisani v obliki 16-ih podokvirjev 1, 2 in 3 za posamezne satelite, saj ti podatke podokvirjev lahko oddajajo največ 2 uri. Satelit lahko začne oddajati novi niz podatkov v kateremkoli trenutku, naslednje posredovanje podatkov pa poteka spet točno ob določeni uri. Večina GPS sprejemnikov lahko neprenehoma spremlja gibanje satelitov nad obzorjem. V tem času poteka demodulacija podatkov navigacijskega sporočila tako, da programska oprema sprejemnika poizkuša zaznati spremembe v podokvirjih 1, 2 in 3. Ko pride do sprememb vsebine se uporabi novi niz podatkov oddanih efemerid.

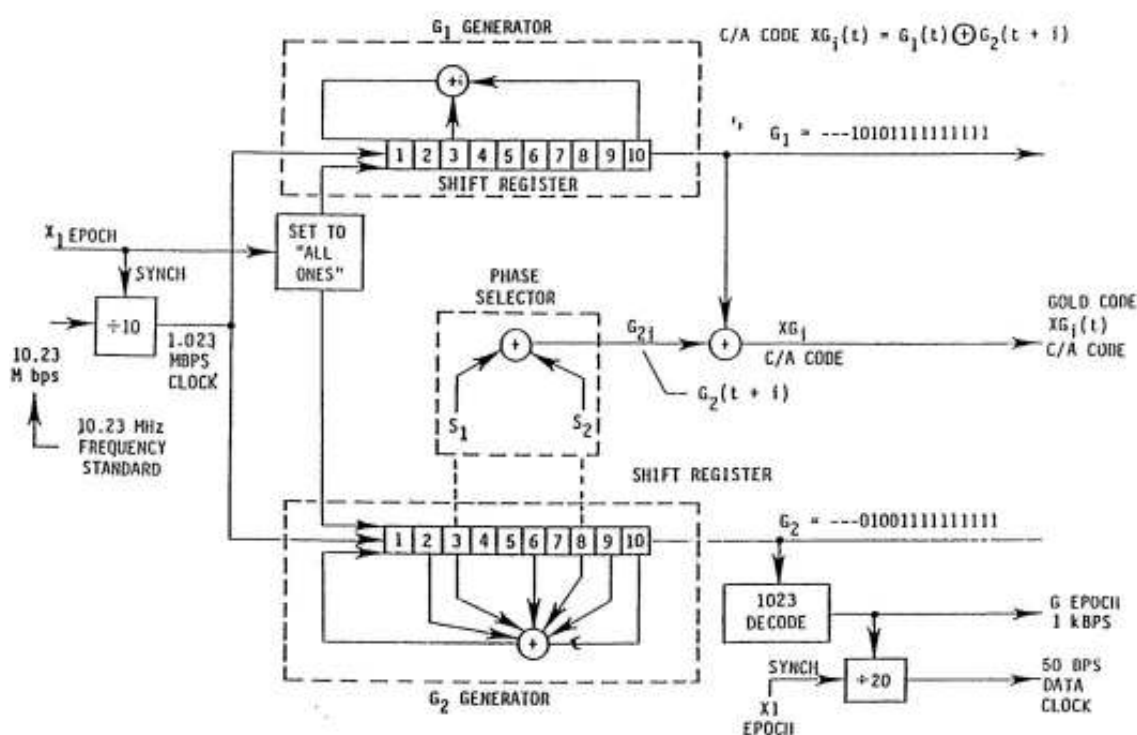
Podatki v podokvirjih 1, 2 in 3 so določeni tako, da so parametri ur in podatki tirnic satelitov določeni za periodo štirih ur (včasih tudi 6 ur) z najvišjo kakovostjo podatkov približno v sredini periode. Ker sateliti iste podatke oddajajo največ dve uri, je trenutek optimalne uporabnosti podatkov efemerid v času pred zamenjavo vsebine podatkov podokvirjev 1, 2 in 3.

Nasprotno pa GPS sprejemnik almanah pridobi le preko enega satelita in ga ne ažurira vsakih 12.5 minut. V primeru izklopa GPS sprejemnika ta po ponovnem vklopu

uporabi v spominu shranjeni almanah in zadnje podokvirje 1, 2 in 3 navigacijskega sporočila. Če je izklop trajal več kot dve uri, pa z navigacijo lahko pričnemo šele, ko sprejemnik dobi novi niz podatkov navigacijskega sporočila. [6]

## - Koda

**C/A (angl. Coarse Acquisition)** - je psevdo naključna binarna koda (stanji 0 in 1), sestavljena iz 1023 elementov imenovanih "chip" in se ponovi vsako milisekundo. Izraz psevdo naključen pomeni, da je koda naključna, vendar generirana z uporabo več znanih procesov. Elementi so z bitno hitrostjo 1023 Mbps modulirani na nosilni signal, kar pomeni, da dolžina enega elementa ustreza 300 metrom, celotna C/A koda pa ima potem dolžino približno 300 km. Z drugimi besedami, celoten C/A vzorec se ponovi vsakih 300 km na poti med oddajnikom in sprejemnikom. Koda se generira s pomočjo linearnih registrov s povratno vezavo. To je strojna oprema – vezje, ki predstavlja matematično psevdo naključni algoritem. Dobljeno kodno zaporedje poznamo tudi pod imenom "zlata koda", ima dobre avto- in križnokorelacijske lastnosti. Križnokorelacijska lastnost zlata kode pomeni, da ima korelacijska funkcija dveh različnih zaporedij majhno vrednost. To pa je zelo uporabna lastnost, na podlagi katere GPS sprejemniki razlikujejo med signali, prejetimi z različnih satelitov.

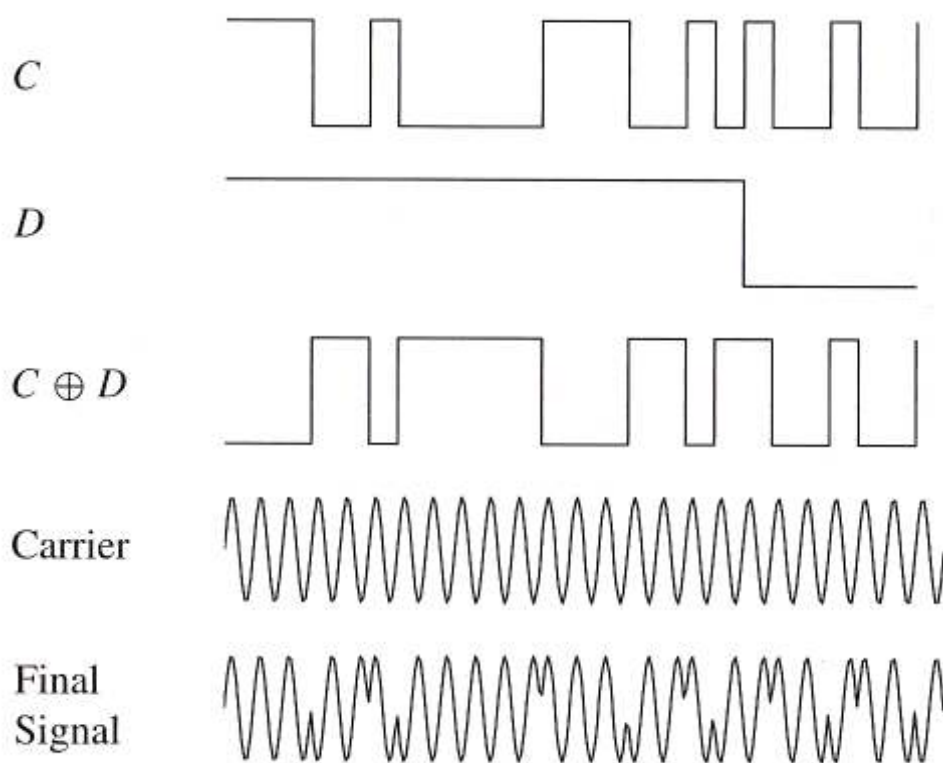


Slika 7: Generator C/A kode [12]

**P (Precise) koda** – je dolga binarna koda, ki se ponovi enkrat vsakih 38 tednov. Koda je skrajšana na enotedensko ponovljivost, sateliti pa oddajajo različne tedenske dele

kode. Hiter dostop do ustreznega dela kode, ki pripada določenemu satelitu se določi s pomočjo informacije zapisane v oddajnem podatkovnem sporočilu. Bitna hitrost elementov – chipov P kode znaša 10.23MHz, kar predstavlja dolžino elementa 30 metrov.

Informacije iz satelitov se pošljejo s tako imenovanim oddajnim podatkovnim sporočilom, ki je tudi modulirano na oba nosilna signala. Pred samo izvedbo modulacije se morajo binarni podatki, ki imajo stanji 0 oziroma 1 predhodno pretransformirati v faktorja  $-1$  in  $1$ . Oddajno podatkovno sporočilo je potem z operacijo seštevanja po modulu 2 prišteto tako k C/A kodi, kot tudi k P kodi. Ta operacija kodo invertira, s tem pa pride tudi do invertiranja avtokorelacijske funkcije. Binarno kodiranje s faznim pomikom (poznano tudi kot binarna modulacija s faznim pomikom – BPSK (angl. Binary Phase Shift Keying method) je tehnika uporabljena za moduliranje osnovnih nosilnih signalov s podatki.



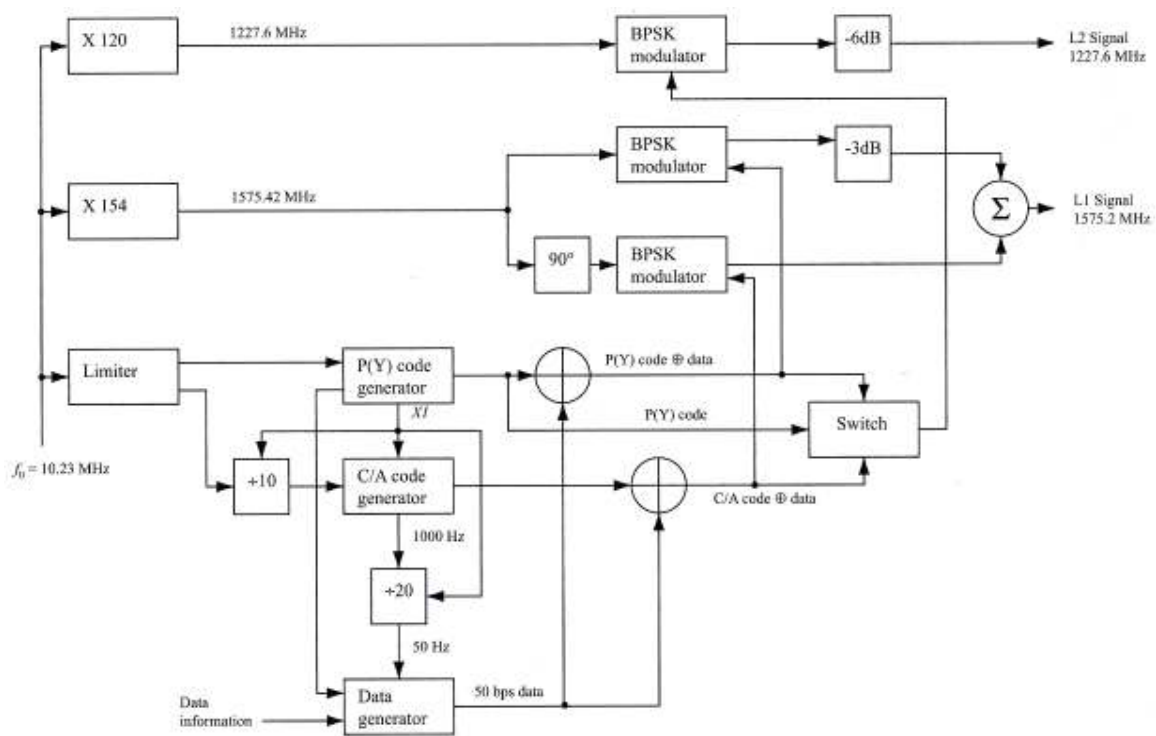
Slika 8: BPSK modulacija L1 signala

Podatki so sedaj neposredno pomnoženi z nosilnim signalom, kar povzroči  $180^\circ$  faznega zasuca ob vsaki spremembi stanja podatkovne kode.

Modulacijske tehnike imajo tudi lastnost, da oddajni signal razširijo preko veliko večje pasovne širine, kot je minimalna potrebna pasovna širina za oddajo enake, vendar nemodulirane informacije. Temu načinu pravimo modulacija razširjenega spektra (angl. spread spectrum modulation).

Signal L1 je moduliran z obema kodama C/A in P na takšen način, da ti dve kodi med sabo ne interferirata. To dosežemo z 90-stopinjskim faznim premikom med njima. Razen tega pa je C/A koda še dodatno ojačena in je tako od 3 do 6 dB močnejša kot P koda.

Za nosilec L2 predpostavljamo, da je lahko moduliran s P kodo ali C/A kodo, vendar se v praksi uporablja le modulacija s P kodo.



Slika 9: Generiranje GPS signala

Satelit k odda signal v sledeči obliki:

$$s^k(t) = \sqrt{2P_{PL1}} (C^k(t) \oplus D^k(t)) \cos(2\pi f_{L1} t) + \sqrt{2P_{PL1}} (P^k(t) \oplus D^k(t)) \sin(2\pi f_{L1} t) + \sqrt{2P_{PL2}} (P^k(t) \oplus D^k(t)) \sin(2\pi f_{L2} t) \quad (1)$$

Spremenljivke enačbe:

$P_C, P_{PL1}, P_{PL2}$  spremenljivke za moč signalov C/A ali P kode

$C^k$  C/A koda satelita k

$P^k$  koda P(Y) satelita k

$D^k$  podatkovni signali

### 3.3 Način določanja položaja

Poznamo dve kategoriji pozicioniranja s pomočjo GPS, ki ju lahko opredelimo kot navigacijo v realnem času oziroma zelo precizno pozicioniranje s pomočjo merjenja faze nosilnega signala. Pri navigaciji uporabljamo minimalno tri psevdo navigacijske meritve s tremi sateliti za določitev dvodimenzionalnih koordinat sprejemnika in časovnega zamika med sprejemnikovim oscilatorjem in GPS sistemsko uro. Za tridimenzionalno pozicioniranje potrebujemo minimalno štiri satelite. Razširitev tega načina je diferencialni GPS princip (DGPS), ki prav tako opravlja psevdo navigacijske meritve, vendar pa vsebuje še korekcije napake meritve v realnem času.

Naslednja kategorija uporablja veliko bolj precizno določanje faze nosilnega signala. Glede na to, da imata oba nosilca kratki valovni dolžini (19 cm za L1 ter 24 cm za L2), ne moreta biti na isti način uporabljena za psevdo pozicioniranje. Najprej mora biti ugotovljeno celo število valovnih dolžin (celoštevilični mnogokratnik) med satelitom in sprejemnikom, kar se navadno napravi pri postprocesiranju z uporabo linearne kombinacije dveh frekvenc ter tehnike diferenciranja.

Razlika med tema dvema načinoma postaja vse manj očitna. Kombiniranje psevdo pozicioniranja in podatkov o fazi, zmanjšuje šumno napako pri meritvi psevdo pozicije, kar pa seveda pomeni večjo točnost pozicioniranja.

Pozicija je določena kot presečišče razdalj, ki povezujejo GPS satelit in sprejemnik. Takšen postopek imenujemo trilateracija. Za določitev pozicije uporabnika je potrebno določiti tri koordinate  $U_X$ ,  $U_Y$ ,  $U_Z$  ter zamik ure  $C_B$ . Da lahko rešimo sistem štirih enačb s štirimi neznankami so potrebni sočasno vidni vsaj štirje sateliti:

$$\begin{aligned}(X_1 - U_X)^2 + (Y_1 - U_Y)^2 + (Z_1 - U_Z)^2 &= (R_1 - C_B)^2 \\(X_2 - U_X)^2 + (Y_2 - U_Y)^2 + (Z_2 - U_Z)^2 &= (R_2 - C_B)^2 \\(X_3 - U_X)^2 + (Y_3 - U_Y)^2 + (Z_3 - U_Z)^2 &= (R_3 - C_B)^2 \\(X_4 - U_X)^2 + (Y_4 - U_Y)^2 + (Z_4 - U_Z)^2 &= (R_4 - C_B)^2\end{aligned}\quad (2)$$

Pri tem so:

$R_i = c \cdot \Delta t_i$  razdalja med satelitom  $i$  ( $i=1,2,3,4$ ) in sprejemnikom [m]

$X_i, Y_i, Z_i$  položaj satelitov ( $i=1,2,3,4$ ) [m]

$U_X, U_Y, U_Z$  položaj uporabnika [m] kasneje preračunan v zemljepisne koordinate

$C_B$	zamik uporabnikove ure [m]
$c$	svetlobna hitrost [m/s]
$\Delta t_i$	čas potovanja signala s satelita $i$ ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) do sprejemnika

Razdalje med GPS sateliti in sprejemnikom niso izmerjene neposredno, temveč morajo biti izpeljane iz meritev. Tipično so razdalje izpeljane iz dveh osnovnih GPS meritev.

### 3.3.1 Psevdo pozicionirna meritev

Psevdo pozicionirna meritev je osnova operacija, ki jo zna opraviti vsak tip GPS sprejemnika, izkorišča pa C/A in/ali P kodo, modulirano na nosilni signal. Z meritvijo beležimo čas potovanja kode od satelita k sprejemniku. Le-tega nato pomnožimo s hitrostjo svetlobe in tako dobimo razdaljo.

Proces deluje takole: v konstantnih časovnih intervalih se znotraj sprejemnika in satelita generira koda (npr. C/A). Satelit kodo nato pošlje, sprejemnik pa jo sprejme ter primerja stanje prejete kode s svojo. Razlika je potem enaka času preleta signala s satelita do sprejemnika.

Vendar pa sprejemnikova in satelitova ura nista popolnoma sinhronizirani, saj je, predvsem v sprejemniku, navadno uporabljena relativno nenatančna ura. To povzroči časovni zamik, ki se kaže kot napaka v razdalji do satelita – od tod pride izraz “psevdo pozicioniranje”. Ta napaka mora biti preračunana, saj je zamik ure znotraj enega merilnega obdobja za vse satelite konstanten. Ravno zaradi tega pa so za pozicioniranje, to je določevanje treh koordinat (zemljepisna širina, dolžina ter višina), potrebni trije sateliti, s četrtem pa določimo zamik ure. C/A koda je dolga približno 300 kilometrov, razdalja do satelita pa znaša okrog 20200 kilometrov, zato se koda na celotni razdalji večkrat ponovi in tako ni težko ugotoviti, ali je napačna ali ne. Na drugi strani pa se P koda ne ponavlja, njena dolžina ustreza prepotovani poti svetlobe v enem tednu, kar znese okrog 181 440 000 000 kilometrov.

### 3.3.2 Merjenje faze nosilnega signala

Tudi merjenje faze nosilnega signala izvajamo s pomočjo merjenja časa potovanja signala od satelita k sprejemniku. V tem primeru sta izkoriščena signala L1 in/ali L2. Glede na to, da imata valovni dolžini 19 oziroma 24 centimetrov, je celotna razdalja celoštevilčni mnogokratnik 19 oziroma 24 cm + ostanek. Za vsak satelit so najpogostejše opravljene štiri meritve.

Pri vsaki meritvi se sprejemnik »zaklene« na satelit in šteje koliko celih ciklov je poteklo od časa, ko se je zaklenil na satelit. Na ta način sprejemnik ugotovi celoštevilčni večkratnik valovne dolžine. To število mora sprejemnik ugotoviti le pri prvi meritvi z določenim

satelitom. Pri tem poznamo dva termina. Prvi je izguba sledenja, ki se nanaša na prekinitev zaklenitve na satelit. V tem primeru se poskuša sprejemnik znova in znova zakleniti na satelit ter šteti cikle. Drugi termin je zdrs ciklov, ki nastopi, kadar satelit preskoči določeno število valovnih dolžin, zato meritev ni več točna.

Z uporabo merjenja faze nosilnega signala lahko dosežemo izredne točnosti, vendar pa potrebujemo dva sprejemnika. Točnosti po tem postopku gredo do nekaj centimetrov. Obstaja več različnih tehnik pozicioniranja s pomočjo ugotavljanja faze nosilnega signala.

### 3.4 Izvori napak pri GPS

Napake, katere se potem odražajo pri nenatančnosti pozicioniranja, so po posameznih napakah razporejene nekako tako:

Vrsta napake	Napaka v metrih
Vpliv ionosfere	$\pm 5.0$ m
Orbite satelitov	$\pm 2.5$ m
Urine napake	$\pm 2.0$ m
Širjenje signala po večjih poteh	$\pm 1.0$ m
Vpliv troposfere	$\pm 0.5$ m
Zaokroževanje pri računanju	$\pm 1.0$ m
Skupno	$\pm 12.0$ m

Tabela 1: Izvori napak pri GPS

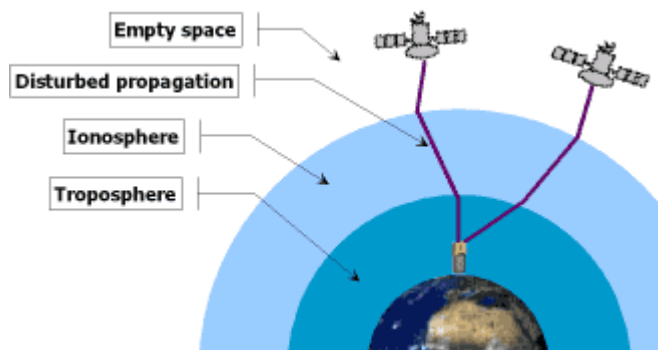
#### 3.4.1 Orbite satelitov

Čeprav so sateliti pozicionirani v zelo natančnih orbitah, so možni majhni zamiki zaradi gravitacije. Podatki satelitov (efemeride) so nadzorovani in se redno popravljajo. Podatki o vseh opazovanih satelitih, ki se beležijo v GPS kontrolnih postajah, se pošiljajo v glavno kontrolno postajo, kjer se opravi predikcija določenih parametrov. Ti novi parametri pa so potem poslani nazaj k satelitom. Tako da napaka signala, katero povzročijo orbite satelitov, načeloma majhna, in naj ne bi bila večja od 2 m.



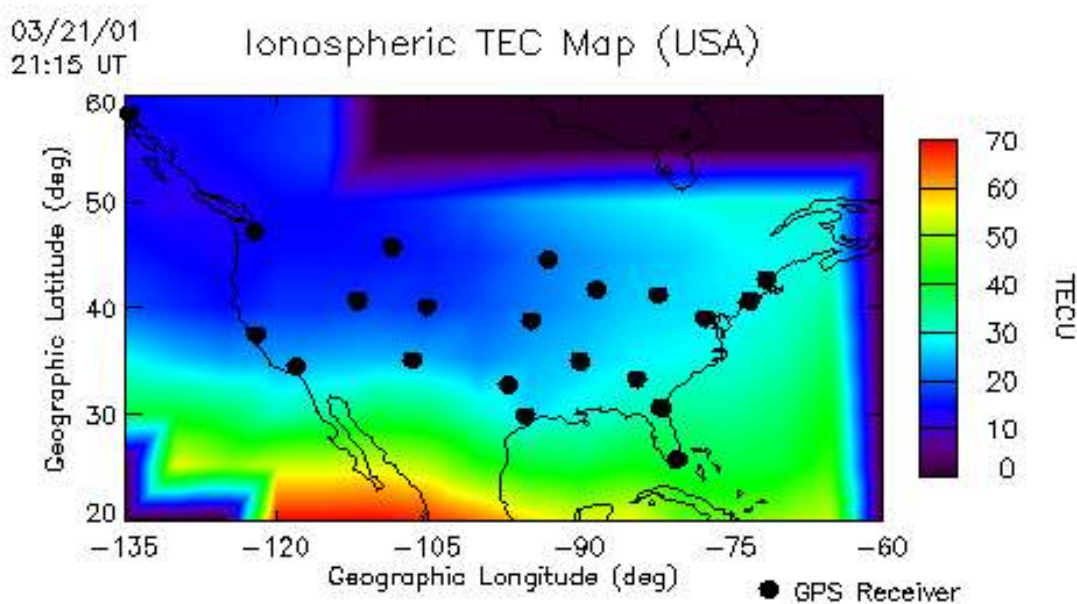
### 3.4.2 Napaka zaradi atmosferskih motenj

V slojih atmosfere prihaja do zakasnitev širjenja signalov, kateri potujejo od satelita k sprejemniku. Za zakasnitve ste najbolj odgovorni dve plasti atmosfere. To sta ionosfera, ki se razprostira od višine 80 pa do 400 km nad površjem Zemlje, ter troposfera, ki se dviga od Zemljinega površja pa vse do višine 80 km. Pri širjenju signala skozi ionosfero prihaja do faznega premika nosilnega signala, kodni podatki pa dobijo skupinsko zakasnitev. Z drugimi besedami, GPS kodna informacija je zakasnjena in izmerjena razdalja do satelita je večja kot dejanska. Stopnja zakasnitve signala je odvisna od skupnega števila elektronov (angl. Total Electron Count - TEC) na poti.



Slika 10: Zgradba atmosfere

TEC je torej merilo gostote elektronov, odvisen pa je od treh faktorjev: od geomagnetne zemljepisne širine, od dela dneva, oziroma ure ter od elevacije satelita (Elevacija je višina satelita v stopinjah glede na horizont. Primer, če je elevacija  $90^\circ$ , potem je satelit v zenitu – stoji točno nad nami). TEC zemljevid se uporablja pri WAAS sistemu, za odpravljanje vplivov ionosfere.



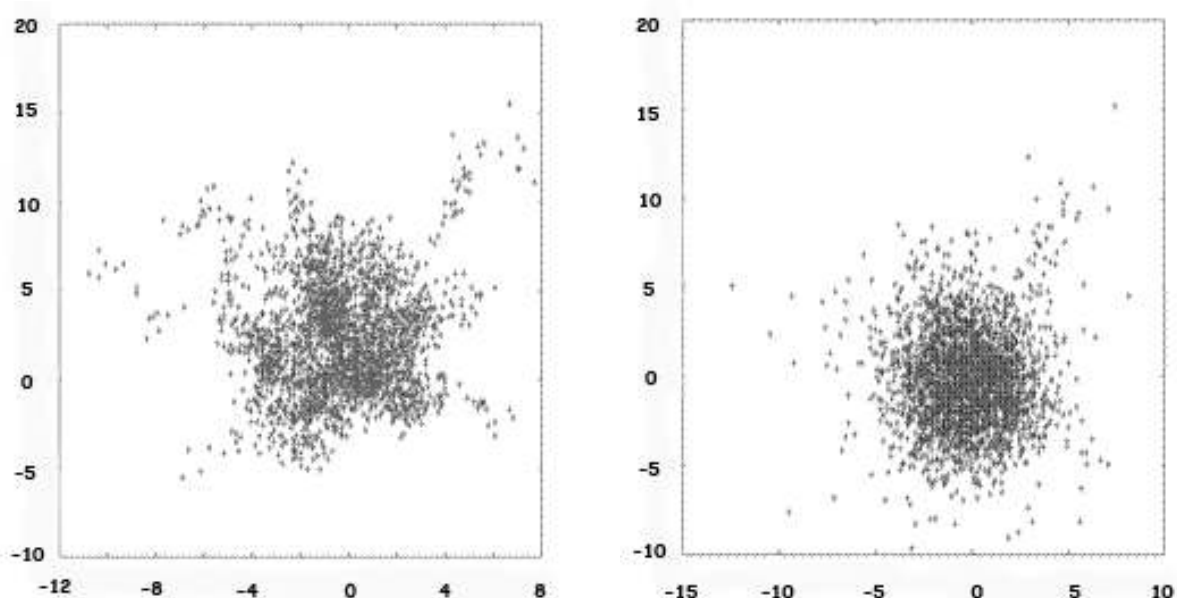
Slika 11: Primer TEC zemljevida, ki se uporablja za odpravljanje vplivov ionosfere [21]

Opazno večje zakasnitve širjenja signalov nastopijo pri satelitih z nizko elevacijo podnevi, zato ker od njih signali potujejo preko večjega dela ionosfere, podnevi pa je tudi jakost sončevega sevanja precej večja in s tem je povečana tudi ionizacija. Tudi v področjih blizu geomagnetnega ekvatorja oziroma blizu polov so zakasnitve večje. Ionosferske zakasnitve so močno frekvenčno odvisne, zato jih je moč odpraviti z uporabo dveh frekvenc GPS nosilnih

signalov. Tudi sprejemniki z uporabo le ene frekvence lahko delno modelirajo ionosferski efekt z uporabo Klobucharjevega modela, kjer se lahko odpravi med 50-60% vpliva ionosfere.

Vsak satelit oddaja znotraj oddajnega podatkovnega sporočila osem parametrov tega modela, ki so uporabljeni kot koeficienti dveh polinomov tretje stopnje. Ti parametri so odvisni od ure dneva in od geomagnetne zemeljske širine sprejemnika. Troposfera povzroči zakasnitev tako kode, kot tudi nosilnega signala. Glede na to, da frekvenčno ni odvisna (znotraj GPS L frekvenčnega pasu) zakasnitve ne moremo izločiti z uporabo dveh frekvenc, lahko pa jo uspešno modeliramo. Vpliv troposfere delimo na dve komponenti: suha komponenta povzroči 90% vse refrakcije, vlažna pa preostalih 10%. Za modeliranje troposferske zakasnitve potrebujemo vrednosti temperature, zračnega tlaka, relativne vlažnosti in kota elevacije satelita. Modeli, ki so jih vpeljali Hopfield, Black in Saastamoninen so uspešni v ocenjevanju suhe komponente zakasnitve do 1cm, ter vlažne do 5 cm.

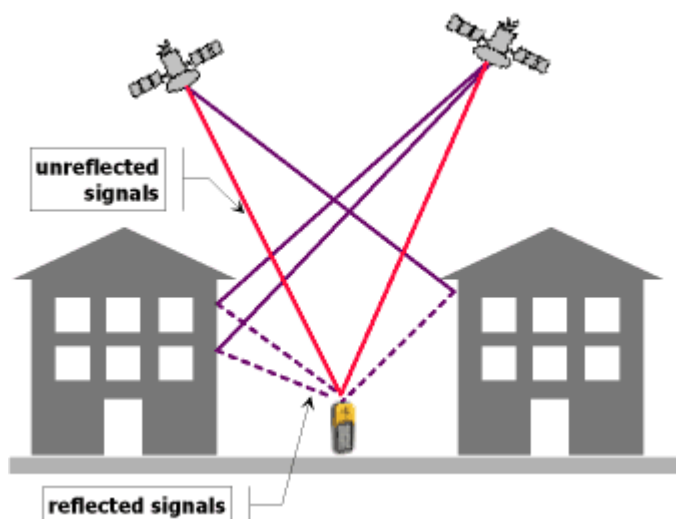
Primerjava natančnosti pozicioniranja z uporabo enofrekvenčnega GPS sprejemnika in dvofrekvenčnega, ki zmanjša vpliv atmosfere.



Slika 12: Določanje pozicije brez in z atmosferskimi popravki

### 3.4.3 Napaka zaradi širjenja signala po več poteh

Napaka zaradi širjenja signala po več poteh je fenomen, pri katerem pride do odboja signala od nekaterih objektov ali površine, še preden je signal detektirala antena. Tako se signal lahko odbije od delov satelita, kot so na primer njegove sončne celice. Bolj zaskrbljujoče je reflektiranje signala s površine, ki obdaja sprejemnikovo anteno. Najbolj pogosto se to dogaja v ulicah, kjer pride do odbojev od zgradb. Napaka zaradi odboja signala v tem primeru znaša nekaj metrov.



Slika 13: Širjenje signala po večjih poteh

### 3.4.4 Geometrija satelitov

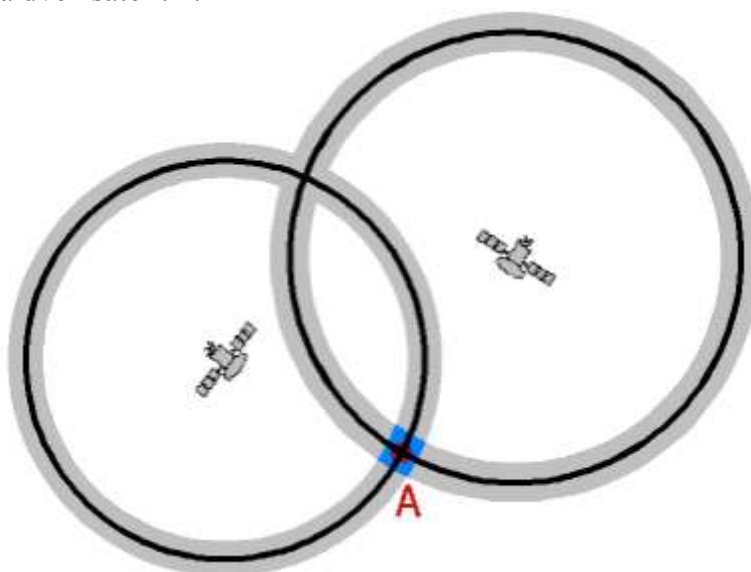
Geometrija satelitov opisuje pozicije satelitov iz vidika sprejemnika.

Če sprejemnik vidi 4 satelite in so vsi npr. na severovzhodu pomeni to slabo geometrijo. V najslabšem primeru sploh ni možno določiti pozicije uporabnika, če pa se pozicija lahko določi, lahko pride pri pozicioniranju do napake tudi med 100 – 150 m.

Če so sateliti ugodno razporejeni po vsem nebu je določanje pozicije precej bolj natančno. Če sprejemnik vidi 4 satelite in se nahajajo npr. na severu, jugu, vzhodu, zahodu, se pravi približno pod koti  $90^\circ$ , potem se lahko razdalje do satelitov merijo iz 4 različnih smeri, v tem primeru govorimo o dobri geometriji.

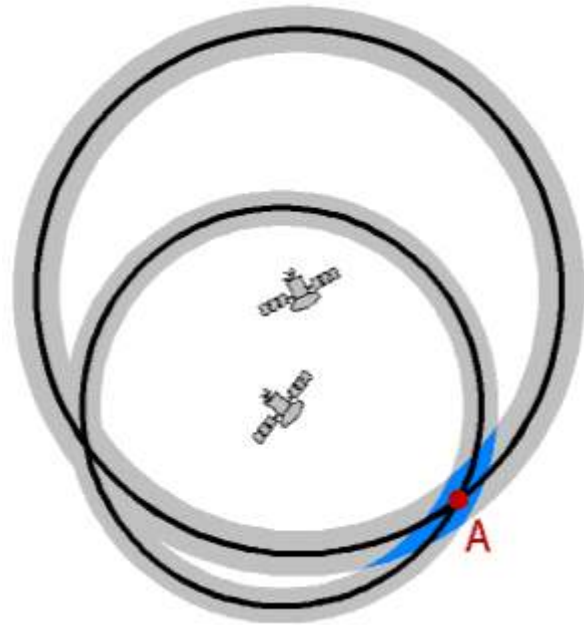
Primer dobre in slabe geometrije na dveh satelitih.

Če imata satelita ugodno razporeditev, naj bi bila vidna iz stališča sprejemnika pod kotom  $90^\circ$ . Točen signal je prikazan z črno črto, s sivo barvo so označene možne pozicije. Signala se sekata v točki A, medtem ko so možne pozicije, ki ju določata signala označene z modro barvo, ker sta satelita dobro razporejena je tudi območje dokaj majhno zato bo tudi izračunana pozicija natančnejša.



Slika 14: Primer slabe geometrije satelitov

Če so sateliti slabo razporejeni, se pravi bolj ali manj v isti liniji glede na sprejemnika, bo tudi območje kjer se sekajo signali večje in daljše in s tem bo tudi natančnost pozicije manjša.



Slika 15: Primer dobre geometrije satelitov

Geometrijo satelitov merimo s t.i. DOP (angl. Dilution of Precision), ki nam pove kakšna je geometrija satelitov, katere sprejemnik vidi. Večji kot med sateliti zmanjšuje DOP in izboljšuje meritve. Večji DOP predstavlja slabo geometrijo satelitov, kar pomeni slabše rezultate pri pozicioniranju.

DOP zavzema vrednosti med 1, ki predstavlja najboljšo izhodišče, in 50.

DOP	Ocena	Opis
1	Idealno	To je najvišja možna stopnja zanesljivosti, ki se uporablja za zahtevne aplikacije najvišje možne natančnosti ob vsakem času.
2-3	Odlično	Na tej stopnji zaupanja so meritve pozicioniranja dovolj natančne, da izpolnjujejo pogoje za vse razen najbolj občutljivih aplikacij.
4-6	Dobro	Predstavlja raven, ki je še primerna za poslovne odločitve. Pozicijske meritve se lahko uporabljajo za navigacijo uporabnika.
7-8	Zmerno	Meritve se lahko uporabljajo za izračune, vendar pa je kakovost še vedno mogoče izboljšati, priporoča se bolj odprt pogled na nebo.
9-20	Nizko	Predstavlja nizko stopnjo zaupanja. Meritve, je treba zavreči ali pa se jih uporablja samo za označevanje zelo grobe ocene sedanje lokacije.

21-50	Slabo	Na tej ravni, se meritve napačne za več kot 300 metrov in jih je treba zavreči.
-------	-------	---

**Tabela 2: DOP vrednosti**

Glede na dejavnike, ki se uporabljajo za izračun vrednosti DOP, razlikujemo naslednje:

- GDOP (angl. Geometric Dilution Of Precision)
- PDOP (angl. Positional Dilution Of Precision)
- HDOP (angl. Horizontal Dilution Of Precision)
- VDOP (angl. Vertical Dilution Of Precision)
- TDOP (angl. Time Dilution Of Precision)

Ker sistem GPS ni dovolj natančen za vse potrebe, so se razvile tudi druge rešitve, s katerimi so natančnost pozicioniranja močno izboljša. V naslednjem poglavju je taka rešitev opisana in se imenuje diferencialni GPS.



## 4 Diferencialni GPS

Sistemi satelitske navigacije kamor spadajo ameriški GPS, ruski GLONASS in prihajajoči evropski Galileo, omogočajo pridobitev položaja samostojnega sprejemnika z natančnostjo 10–15 metrov. Za veliko večino potreb v geodeziji je takšna natančnost preslaba. Zadostno natančnost omogočata le relativna določitev položaja ali diferencialna določitev položaja DGPS. Relativna določitev položaja sloni na sestavi faznih razlik opazovanj, ki so hkrati pridobljena z referenčnim sprejemnikom in sprejemnikom, katerega položaj določamo. Relativni položaj lahko določimo z milimetrsko natančnostjo. Pri DGPS gre za določitev položaja sprejemnika, katerega položaj določamo, ter uporabo popravkov opazovanj, ki so pridobljena z referenčnim sprejemnikom. Z DGPS lahko pridobimo položaj s centimetrsko natančnostjo. Kombinacija ter nadgradnja obeh načinov določitve položaja je t. i. RTK-postopek (angl. Real Time Kinematic). Pri RTK-postopku gre tako za določitev relativnega položaja z uporabo kodnih in faznih opazovanj ali popravkov kodnih in faznih opazovanj referenčnega sprejemnika ter njihovo skupno obdelavo s podatki opazovanj, ki so pridobljeni s sprejemnikom, katerega položaj določamo. V vseh primerih potrebujemo vsaj en referenčni sprejemnik in položaj referenčnega sprejemnika mora biti znan. Ker so glavni vplivi na opazovanja v okolici referenčnega sprejemnika v nekem trenutku zelo podobni, relativni položaj ali diferencialno pridobljen položaj ni obremenjen z večino teh vplivov. Vplivi, ki jih odstrani določitev relativnega položaja ter tudi DGPS, so: urino stanje in urin tek satelitovih ur, tirnice satelitov ter vpliv troposfere in ionosfere.

Ker je referenčni sprejemnik v primeru DGPS opremljen tudi z opremo, ki omogoča izračun popravkov opazovanj ter njihovo distribucijo, govorimo o referenčni postaji. Referenčna postaja je lahko ena sama, lahko jih je več, ki delujejo samostojno, ali pa so povezane v omrežje postaj. Če so referenčne postaje povezane v omrežje, govorimo o t. i. mrežnem RTK-konceptu. V tem primeru se podatki opazovanj referenčnih postaj pridobivajo, obdelujejo in distribuirajo iz enega mesta – računskega centra omrežja.

V vseh primerih DGPS zahteva stalno podatkovno povezavo sprejemnika, katerega položaj želimo določiti, z računskim centrom, ki posreduje opazovanja in/ali popravke opazovanj. Podatkovna povezava je lahko radijska, preko omrežja mobilne telefonije, interneta ali telekomunikacijskih satelitov. Ta povezava je praviloma vzpostavljena po standardu RTCM-SC104, ki je priznan po celem svetu. Organizacija RTCM (angl. Radio Technical Commission for Maritime Services) predpisuje vsebino tokovnih sporočil, ki so zapisana v bitnem zapisu. RTCM omogoča prenos kodnih popravkov za diferencialno določitev položaja ali dodatne podatke (opazovanja ter popravke faznih in kodnih opazovanj) za določitev položaja z RTK. Podatke RTCM lahko posredujemo preko radijskih valov ali omrežij za mobilne komunikacije. Najnovejša različica standarda je 3.0, ki v primerjavi s predhodno različico 2.3 omogoča precej bolj zgoščen način prenosa podatkov. Količina podatkov naj bi bila manjša za 70 %.

Infrastrukturo diferencialnega GPS torej sestavljajo tri glavne komponente:

- referenčna postaja,
- mobilna postaja,
- podatkovna povezava.

## 4.1 Referenčna postaja DGPS

Pri DGPS je referenčna postaja postavljena na lokacijo z znanimi koordinatami. Njena naloga je določanje korekcije, ki jo nato upoštevajo druge postaje z neznano pozicijo. Referenčno postajo sestavljajo GPS sprejemnik z anteno ter radijska podatkovna povezava (modulator in antena).

Referenčne postaje za generiranje psevdo pozicijskih korekcij navadno uporabljajo vse satelite v svojem vidnem polju. Tako referenčna postaja oddaja korekcijske podatke za vsak satelit posebej, mobilna postaja, ki sprejema te korekcije, pa uporabi le tiste, ki se nanašajo na njene uporabljene satelite. S takšnim načinom se možnost raznih napak precej zmanjša. Za generiranje korekcijskih podatkov v referenčni postaji služi centralni procesor. Procesor preoblikuje korekcijske podatke v standardni RTCM SC-104 binarni format, ki se moduliran na nosilni signal pošlje s pomočjo podatkovne povezave k mobilni postaji. Seveda je mobilnih postaj navadno več.

## 4.2 Mobilna postaja DGPS

Mobilna postaja se sestoji iz GPS sprejemnika, antene, sprejemnika podatkovne zveze in demodulatorja. Korekcije psevdo pozicioniranja so preko podatkovne povezave sprejete od referenčne postaje, demodulirane in se nato uporabijo za korekcijo podatkov. Korekcijski podatki referenčne postaje se uporabijo za korekcijo psevdorazdalj GPS sprejemnika.

$$\text{PRC}(t) = \text{PRC}(t_0) + \text{RRC}(t_1 - t_0) \quad (3)$$

kjer je:

$\text{PRC}(t)$	korekcija podatka mobilne postaje
$\text{PRC}(t_0)$	korekcijski podatek generiran v referenčni postaji
$\text{RRC}$	faktor hitrosti spreminjanja korekcijskih podatkov
$t_0$	čas ob katerem je bila korekcija generirana v referenčni postaji
$t_1$	čas ob katerem je mobilna postaja izvedla psevdo pozicioniranje

Če referenčna postaja uporablja drugačne podatke efemerid (uporaba drugih satelitov) kot mobilna, je včasih potrebno izvesti še drugo vrsto korekcije, ki jo imenujemo korekcija delta. Vse satelite, za katere smo izračunali korekcijske podatke, potem uporabljamo za izračunavanje pozicije in ustreznih statističnih podatkov za mobilno postajo.



Poznamo več različnih DGPS sprejemnikov:

- DGPS sprejemnik s fazno korekcijo,
- DGPS enofrekvenčni sprejemnik z RTK korekcijo,
- DGPS dvofrekvenčni sprejemnik z RTK korekcijo.

## ***4.3 Podatkovna povezava DGPS***

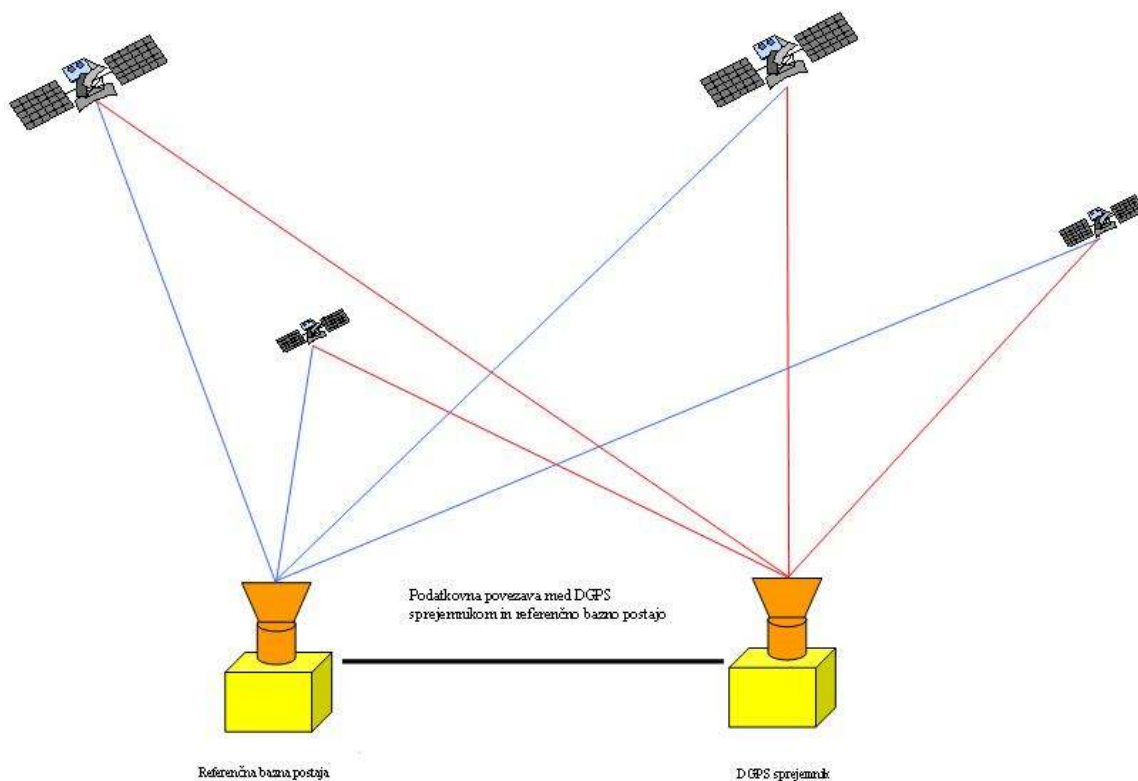
Podatkovna povezava zagotavlja povezavo med referenčno in mobilno postajo. Uporabljen prenosni način mora biti takšen, da omogoča prenos na razdalji med referenčno in mobilno postajo z veliko verjetnostjo dobrega sprejema. Binarni podatki morajo biti tudi dovolj hitro modulirani, zato da je čas prenosa korekcijskega podatka čim krajši. Za izbiro načina podatkovne povezave imamo na voljo zemeljsko ali satelitsko radijsko povezavo.

Uporaba nizkofrekvenčnih zemeljskih radijskih povezav nam zagotavlja zelo dobro ter široko pokritost ozemlja, vendar pa so zato potrebne velike antene in precejšnja oddajna moč. Poleg tega so zaradi velikih valovnih dolžin korekcijski podatki poslani relativno počasi. Izbira višjih frekvenc nam zmanjša potrebno oddajno moč, strojna oprema je enostavnejša, hitrost prenašanja korekcijskih podatkov je velika. Vendar pa se zmanjša razdalja preko katere je lahko signal oddan. Danes za zemeljske radijske podatkovne povezave uporabljamo srednje, visoke in zelo visoke frekvence. Drugi načini zemeljskih povezav koristijo že obstoječe radijske povezave, kot so radijsko lokacijski sistemi lokalne FM radijske postaje in mornariške radijske svetilnike. Prednost teh načinov je v tem, da že imajo dodeljene radijske kanale.

## ***4.4 Delovanje DGPS***

Sprejemniki, ki so med seboj oddaljeni tudi več 10 km, so glede na oddaljenost satelitov (okoli 20 000 km) relativno blizu skupaj, torej so vplivi pri potovanju signala skozi atmosfero zelo podobni. To dejstvo se izkorišča za doseg precej višje natančnosti določitve položaja točk.

Diferencialna opazovanja izvajamo tako, da je en sprejemnik postavljen na baznem stojišču, točki z znanim položajem, drugi sprejemnik pa uporabimo za določanje položaja novih točk. Bazni in premični sprejemnik istočasno sprejemata signale z istih satelitov, njuna medsebojna oddaljenost pa ne sme biti prevelika – do 100 km. Bazni sprejemnik na osnovi prejetih signalov s satelitov določa trenutni lastni položaj, ki zaradi vplivov in pogreškov ne sovпада z danim položajem. Na podlagi odstopanj v položaju se določijo popravki psevdorazdalj med referenčnim sprejemnikom in sateliti. Zaradi podobnih vplivov na opazovanja obeh sprejemnikov se popravki psevdorazdalj, ki so izračunani na baznem stojišču, upoštevajo kot popravki merjenih psevdorazdalj na premičnem sprejemniku.



Slika 16: Delovanje DGPS sistema

Kodne popravke se računa in upošteva z naknadno obdelavo opazovanj para ali več sprejemnikov ali pa se jih računa sproti in se jih preko internega formata ali standarda RTCM oddaja in sprejema v realnem času. Popravke RTCM lahko sprejemamo z referenčnega sprejemnika ali bližnje permanentne postaje GPS. Za sprejem diferencialnih popravkov potrebujemo dodatno opremo za sprejem signala RTCM, hkrati pa mora sprejemnik omogočati diferencialno popravljanje položaja.

Z uporabo DGPS-ja dosežemo natančnost nekaj metrov, z boljšimi sprejemniki GPS celo pod enim metrom. Višinska komponenta je približno dvakrat slabše določena kot horizontalni položaj. Natančnost določitve položaja se slabša z večanjem oddaljenosti med sprejemnikoma. Dosežena natančnost običajno zadošča zahtevam kartografske in GIS-izmere, strogim geodetskimi zahtevam pa še vedno ne ustreza.

Ker določitev položaja temelji na psevdorazdaljah in popravkih teh razdalj, za ta opazovanja uporabimo kodne enofrekvenčne instrumente. Kadar želimo podatek o položaju pridobiti takoj, morajo instrumenti omogočati sprejem sporočil RTCM in sproti izračunavati popravljene položaje. Večina instrumentov (tudi cenejših) ima vgrajen protokol RTCM. Za izvedbo metode sta potrebna vsaj dva instrumenta ter radio-modemi ali aparati GSM za oddajo in sprejem sporočil RTCM.

Natančnost meritev je odvisno od:

- oddaljenosti od referenčne bazne postaje,
- natančnosti in kvalitete DGPS sprejemnika,
- števila vidnih satelitov,
- vremenskih razmer (dogajanje v ionosferi),
- zanesljivosti in hitrosti komunikacije,
- števila meritev in vzorčenja.

Če želimo, da je natančnost meritev velika, morajo biti izpolnjeni sledeči pogoji:

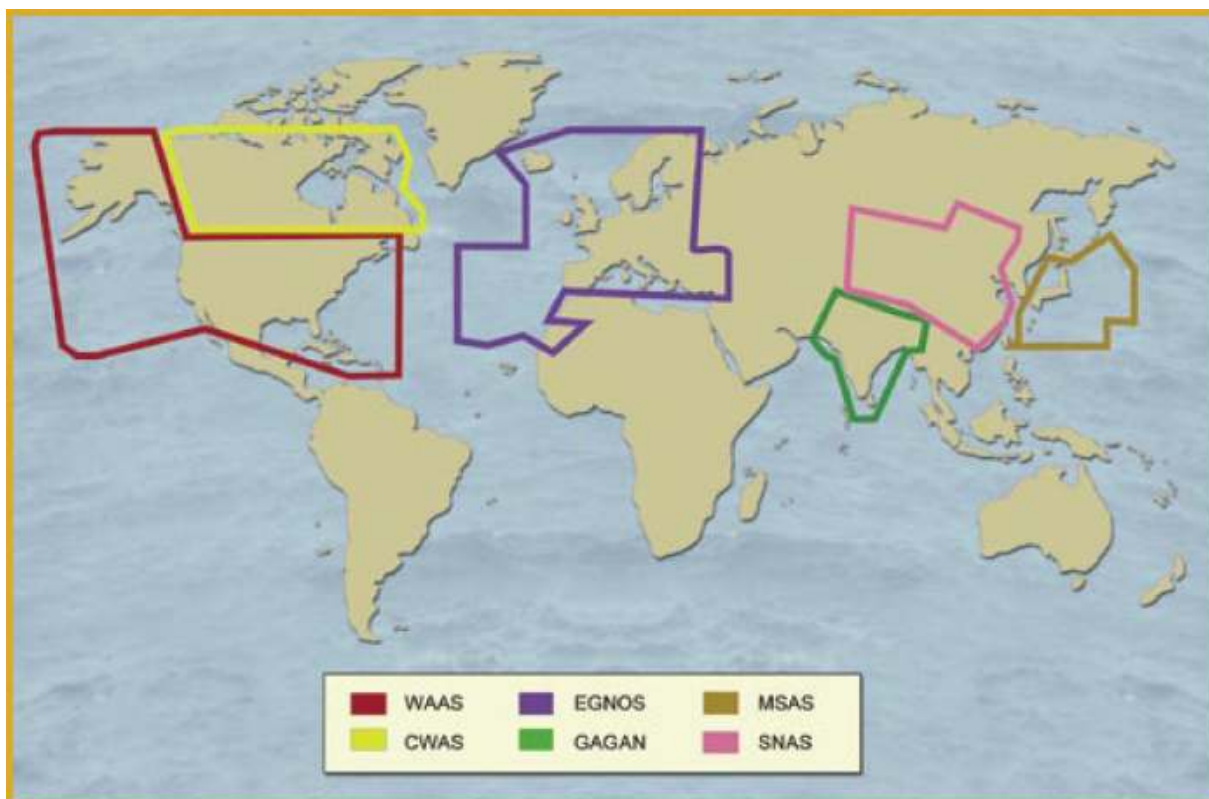
- natančna referenčna bazna postaja,
- oddaljenost uporabnika od referenčne postaje mora biti dovolj majhna (do 30 km),
- prepustnost komunikacije mora biti dovolj visoka.

Diferencialnega GPS pa ne moremo vedno uporabljati na način, ki je opisan zgoraj, kajti v letalstvu ne moremo uporabljati zemeljskih referenčnih postaj katere bi nam zagotavljale popravke. Ravno za potrebe v letalstvu so bili razviti satelitski sistemi z zagotavljanje popravkov opazovanj t.i. SBAS sistemi, kateri svoje meritve posredujejo geostacionarnim satelitom, ki potem oddajajo popravke.

## 4.5 Satelitski sistemi za zagotavljanje popravkov opazovanj

Skupno ime za satelitske sisteme za zagotavljanje popravkov opazovanj je SBAS (angl. Satellite Based Augmentation Systems). To so sistemi:

EGNOS	angl. European Geostationary Navigation Overlay Service
WAAS	angl. Wide Area Augmentation System
MSAS	angl. Japanese MTSAT Satellite Augmentation System
CWAAS	angl. Canadian WAAS
SNAS	angl. Chinese Satellite Navigation Augmentation System
GAGAN	angl. GPS Aided Geo Augmented Navigation

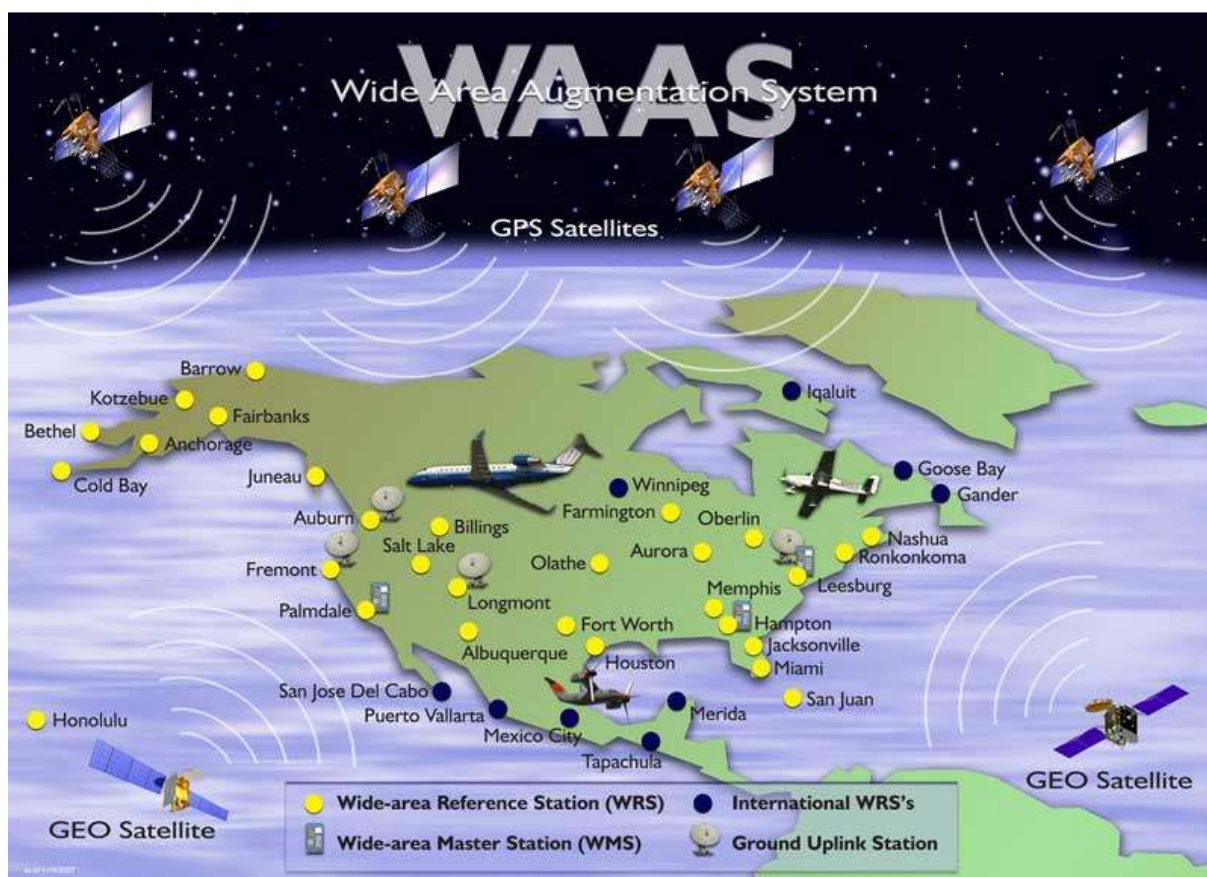


Slika 17: Zemljevid pokritosti s SBAS sistemi [10]

### 4.5.1 WAAS (Wide Area Augmentation System)

Sistem je bil razvit s strani FAA (angl. Federal Aviation Administration) z namenom, da se poveča natančnost in dosegljivost GPS signala. Pravzaprav je bil WAAS razvit zato da bi se lahko letala bolj zanašala na GPS signal v vseh fazah leta in povečanju natančnosti pri približevanju letališčem. WAAS odpravi napake GPS satelitov, napake ionosfere, časovne napake, napake orbit satelitov in zagotavlja popolnost zdravja vsakega satelita.

Sistem uporablja mrežo zemeljskih postaj imenovanih referenčne postaje (angl. Wide-area Reference Stations - WRS), teh je trenutno 46, razporejene so po Ameriki. Te postaje posredujejo svoje meritve trem glavnim postajam (angl. Wide-area Master Stations - WMS), ena je locirana na zahodni in dve na vzhodni strani obale, ki kreirajo GPS korekcijska sporočila. Ta sporočila so nato posredovana postajam (angl. uplink station), katere pošiljajo podatke geostacionarnim satelitom, vsaj enkrat na 5s. Sateliti nato pošiljajo korekcijska sporočila nazaj na zemljo, kjer lahko sprejemniki kateri nudijo podporo WAAS sistemu, le te uporabijo pri računanju pozicije in s tem zmanjšajo napako pozicioniranja. [16]



Slika 18: WAAS sistem

Z priključitvijo sistemu 9 novih postaj (modre pike) je sistem uporaben od Septembra 2008 tudi v Mehiki in Kanadi. [16]

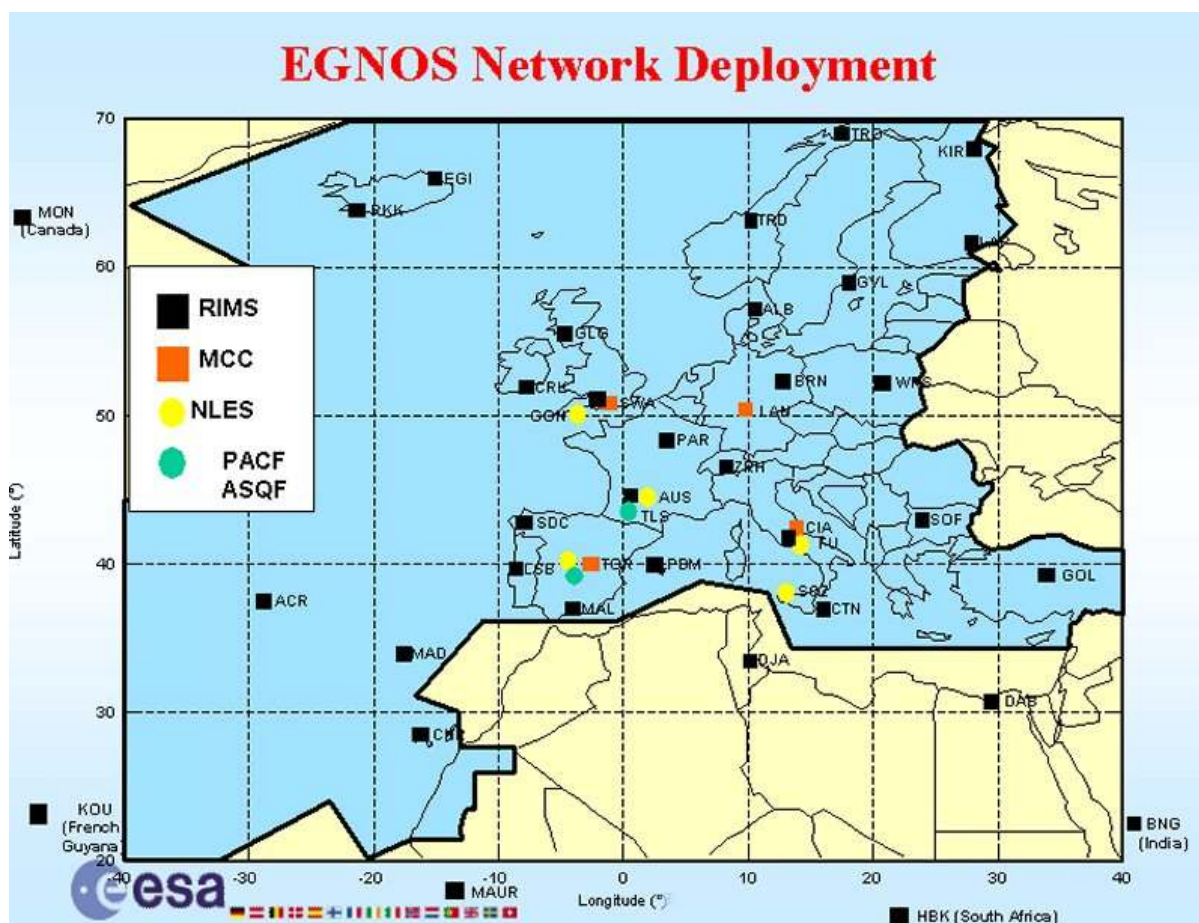
Z uporabo WAAS sistema je natančnost pozicioniranja med 1.5 – 2 m.



### 4.5.2 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)

Sistem razvijajo države Evropske unije. Za delovanje uporablja GPS sistem in ruski GLONASS, kar omogoča še večjo varnost pri uporabi kritičnih aplikacij, ki jih uporabljajo letala in ladje. Velja povedati, da sistem EGNOS še ni popolnoma razvit, je v testni fazi, vendar pa prikazuje korekcijske popravke od aprila 2003. Sistem mora prestati varnostne teste, preden postane polno delujoč.

Ravno tako kot sistem WAAS, tudi EGNOS za delovanje uporablja 3 geostacionarne satelite, mrežo zemeljskih baznih postaj (angl. Ranging and Integrity Monitoring Stations - RIMS), ter štiri glavne postaje (angl. Master Control Centres - MCC), kjer se izvršujejo analize in izračuni podatkov, ki jih dobijo od baznih postaj. Glavne postaje pošiljajo podatke geostacionarnim satelitom preko t.i. uplink postaj.



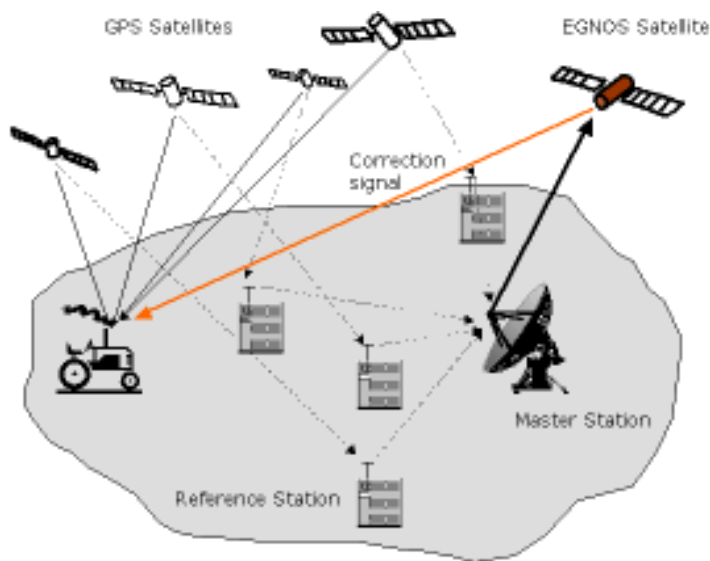
Slika 19: EGNOS sistem

S popravki GPS signala EGOS izboljša natančnost pozicioniranja napake GPS sistema na manj kot 2 m. [9]

### 4.5.3 Delovanje SBAS sistemov

SBAS sistem naj bi zagotavljal dodatno natančnost in zanesljivost GPS sistema. Da bi to zagotovili, je potrebna mreža zemeljskih postaj, katerih pozicija mora biti zelo natančno določena. Ker SBAS sistemi ne morejo tako kot DGPS sistem poslati popravkov uporabniku, kjer bi bili popravki uporabljeni na psevdo razdaljah. Kot je znano so glavni viri napak v GPS sistemu vpliv ionosfere, napake ure in napake efemerid. Sistem izračuna popravke za sledeče vire napak GPS signala, katere potem geostacionarni satelit pošilja uporabnikom.

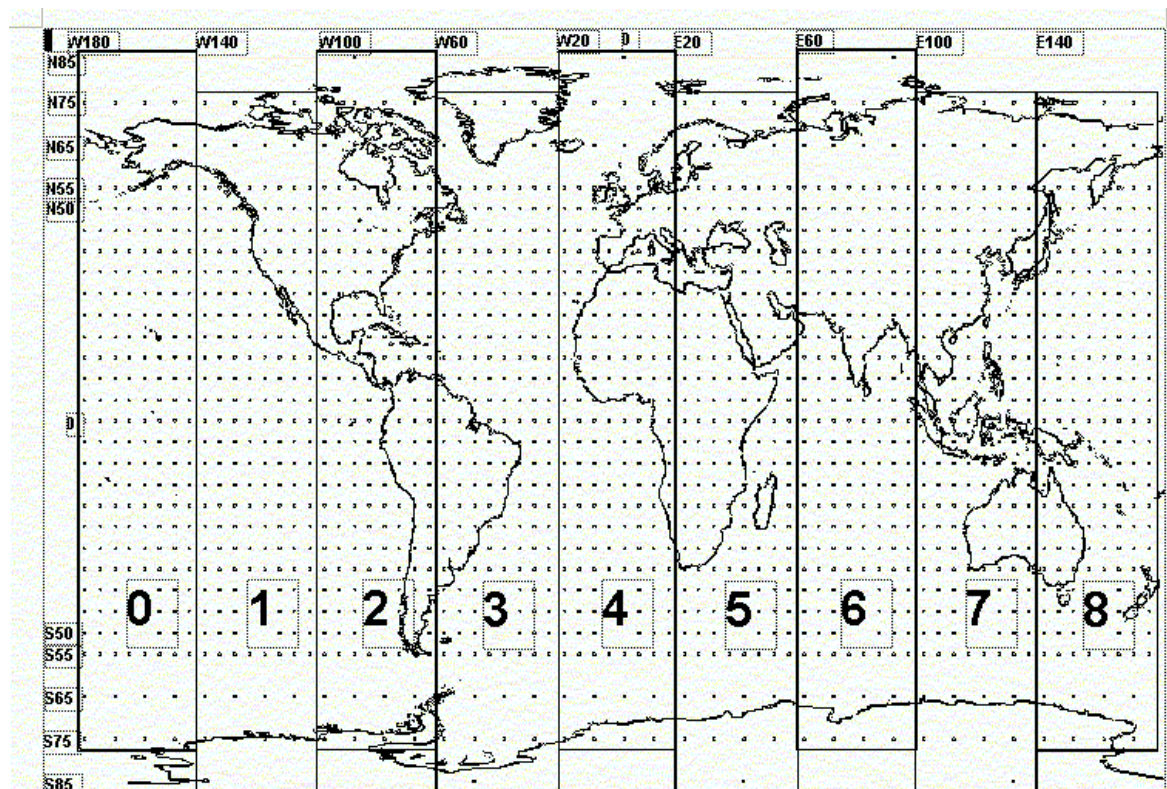
Zemeljske postaje sprejemajo GPS signal (EGNOS sistem tudi GLONASS signal v prihodnosti pa bo še GALILEO signal, ko bo razvit do konca) in posredujejo podatke centralnemu procesnemu centru, kjer se podatki analizirajo in izračunajo detaljne napake za posamezen vir napake. Te napake se potem posredujejo preko t.i. uplink postaj geostacionarnim satelitom, kateri potem posredujejo popravke pozicij naprej uporabnikom. [8]



Slika 20: Delovanje SBAS sistemov

Urine napake se lahko hitro spreminjajo, tako da se morajo podatki osveževati vsako minuto, napake efemerid in vplivi ionosfere se ne spreminjajo tako hitro, zato se osvežujejo na približno 2 minuti. Napake ure in efemerid so odvisne od satelitov, medtem ko je vpliv ionosfere odvisen od lokacije kjer se uporabnik nahaja. Ko centralna postaja dobi surove podatke od zemeljskih postaj, razdeli državo v mrežo in potem zgradi popravke ionosfere na podlagi mreže in postaj kjer so postavljene. Lokacija uporabnika, ki se nahaja znotraj ene celice, se uporabi pri določanju popravkov za vpliv ionosfere. [7]

Od vseh podprtih popravkov, ki jih podpira SBAS sistem, je treba samo pri ionosferskih podatkih poznati lokacijo uporabnika. Popravki ure in efemeride so dosegljivi, tudi če je uporabnik lociran zunaj mreže, ki podpira ionosferske popravke. Mreža ionosferskih popravkov zgleda nekako tako:

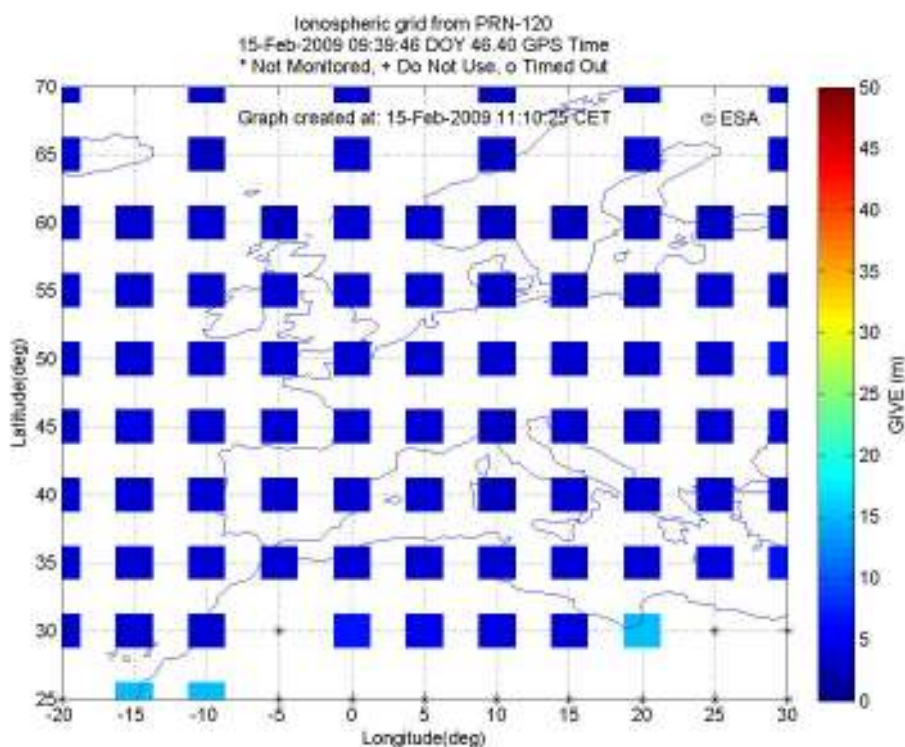


Slika 21: Mreža ionosferskih popravkov [11]

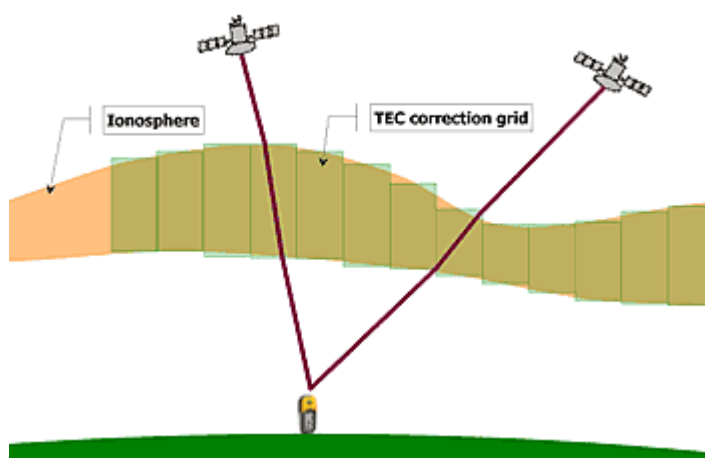
Centralna postaja izračuna ionosferske popravke za točke na mreži na podlagi podatkov, ki jih dobi od zemeljskih postaj. Seveda ni pričakovati, da bomo dobili podatke za vse točke na zemlji, zato sprejemnik sprejme kot del almanaha masko mreže, ki pove kje naj pričakujemo popravke. Maska je razdeljena v pasove (na sliki 21 označeni s številkami) kjer je za vsako točko znotraj pasa določeno če vsebuje podatke ali ne, vsak pas ima 201 točko razen zadnji ima 200 točk. Vsak geostationarni satelit ima podatke za največ 4 pasove.

Sprejemnik bo našel svoj položaj v razmerju 4 točk, in interpoliral podatke teh 4 točk glede na njihovo relativno razdaljo. Če ima na razpolago samo 3 točke, bo sprejemnik izračunal trikotnik. Če je lokacija znotraj trikotnika, bo uporabil podatke teh 3 točk, interpoliral popravke, v nasprotnem primeru naj teh popravkov nebi uporabil. V praksi se zgodi da se uporablja podatki iz mreže, tudi če je na voljo samo ena točka, ki naj bi bila »dovolj blizu« lokaciji, kjer se nahaja sprejemnik. Primer ionosferske mreže sistema EGNOS iz dne 15.2.2009.





Slika 22: Primer TEC zemljevida EGNOS sistema iz dne 15.2.2009 [9]



Ionosfera ni statična in je odvisna od aktivnosti sonca. Znano je, da je enofrekvenčni GPS sprejemnik bolj natančen ponoči, kot pa podnevi.

Slika 23: Poenostavljen dvodimenzionalni diagram mreže ionosferskih popravkov

Korekcijski popravki so zelo pomembni za sistemsko integriteto. Vsaka zemeljska postaja in centralna postaja ima neodvisne vire kritičnih podatkov. Za vsak satelit se lahko določi če ni umerjen. Slabi podatki se zaznajo in posredujejo uporabniku v 6s.

Geostacionarni sateliti uporabljajo zelo podobne signale in na istih frekvencah kot GPS sateliti.

## 4.6 Določanje položaja z referenčnimi GPS postajami

Za natančnejše določanje položaja meritve z enim samim sprejemnikom niso dovolj. Potrebno je uporabiti precej dražji dvofrekvenčni premični sprejemnik in vsaj en dodatni sprejemnik GPS, ki je postavljen na geodetsko točko z znanim položajem, in sicer začasno ali stalno referenčno postajo GPS. Če je več permanentnih postaj GPS povezanih v omrežje, lahko s posebno programsko opremo iz nadzornega centra distribuiramo popravke položaja, ki omogočajo izračun položaja vsaj na meter natančno, pri dolgotrajnih statičnih meritvah z naknadno obdelavo pa celo na nekaj milimetrov natančno. Zanimivo si je ogledati splošne razlike med klasičnimi geodetskimi meritvami in primerljivo natančnimi meritvami z uporabo referenčnih postaj GPS. Pri klasičnih se omejimo npr. na triangulacijo, ki v ravnini kartografske projekcije, v Sloveniji Gauss-Kruegerjeve, ponuja za državno ozemlje največjo natančnost. [2]

<b>Triangulacija</b>	<b>GPS - izmera z referenčnimi postajami</b>
Potrebne so fiksno stabilizirane trajne geodetske točke na terenu.	Razen za permanentne postaje načeloma niso potrebne trajno stabilizirane točke.
Geodetske točke morajo biti optično vidne med seboj.	Na merjenih točkah mora biti zagotovljena le vidnost ustreznega števila satelitov.
V mreži se masovno in nadštevilno merijo koti ter vsaj ena razdalja, rezultat pa so koordinate v ravnini kartografske projekcije.	Sprejemnik sprejema satelitske signale, iz kodnih ali faznih meritev pa dobimo 3D položaj v prostoru. Prehod v ravnino kartografske projekcije je mogoč s transformacijo.
Kote merimo s teodolitom, razdalje pa z elektronskim razdaljemerom.	Signale sprejemamo z anteno sprejemnika GPS.
Za vsakdanjo geodetsko izmero je potrebno triangulacijo zgostiti na več hierarhično vgnезdenih mrež s stranicami trikotnikov od 30 do 60 km za prvi red, pa do npr. četrtega reda s stranicami med 1 in 4 km. Za Slovenijo to pomeni več kot 15.000 temeljnih geodetskih točk.	Za vsakdanje meritve z nekaj centimetrsko natančnostjo v realnem času je potrebno omrežje permanentnih postaj, ki med seboj ne smejo biti oddaljene več kot 70 km. Za Slovenijo je dovolj le 15 postaj.
Za določitev položaja geodetskih točk triangulacije moramo izravnati mrežo trikotnikov med statičnimi geodetskimi točkami. Točke triangulacije služijo kot referenčne točke (navezava) za vsakdanjo geodetsko izmero.	Za eno ali več permanentnih postaj moramo predhodno izmeriti in izračunati natančni položaj. Permanentne postaje so referenca za vsakdanjo geodetsko izmero. Za določitev položaja izračunavamo količine v trikotnikih med sprejemnikom na Zemlji in gibajočimi se sateliti GPS.
Triangulacija je običajna metoda izmere v	GPS uporablja geocentrični elipsoid sistema

državnih koordinatnih sistemih, ki za obliko Zemlje uporabljajo parametre enega od tradicionalnih referenčnih elipsoidov, ta pa ni geocentrično orientiran. Državni koordinatni sistem je zato v vsaki državi drugačen.	WGS 84 (angl. World Geodetic System 1984). Pri geodetskih meritvah v Evropi namesto WGS 84 uporabljamo evropski geocentrični sistem ETRS 89 (angl. European Terrestrial Reference System 1989). Za celotno Evropo v principu uporabljamo isti koordinatni sistem.
---	---

**Tabela 3: Primerjava GPS-izmere in triangulacije [2]**

### 4.6.1 RTK metoda izmere

Pri tej metodi določamo položaj skoraj v realnem času. RTK (angl. Real Time Kinematic) je najnovejša kinematična metoda, ki zaradi določanja koordinat detajlnih točk v realnem času in v lokalnem koordinatnem sistemu omogoča poleg snemanja tudi zakoličevanje detajla.

Za operativno uporabo te metode so potrebni:

- dvofrekvenčni GPS sprejemniki
- močna računalniška podpora za real-time izračun opazovanj, ter
- priročne in zmogljive radijske povezave med premičnimi in baznimi postajami

RTK sistem predstavlja referenčna in premična postaja. Referenčna postaja sprejema signal z vseh vidnih satelitov in računa korekcijske elemente kot razliko med danimi koordinatami in izračunanimi koordinatami WGS84. Korekcije se računajo sproti in skupaj s podatkom o času, v katerem so nastali, tvorijo t.i. RTK korekcijo in jo pošljejo prek radijskega modema v eter. Premična postaja prav tako računa svoj položaj na podlagi opazovanj z vseh vidnih satelitov, k temu položaju pa prišteje parametre korekcije RTK, ki jih dobi od referenčnega sprejemnika prek radijskega modema. Ta preračun se izvaja sproti, tako da dobimo natančen položaj obeh sprejemnikov v sistemu WGS84. Za preračun v lokalni koordinatni sistem je treba izvesti ustrezno pretvorbo koordinat. [15]

RTK način izmere pa ima tudi svoje slabosti :

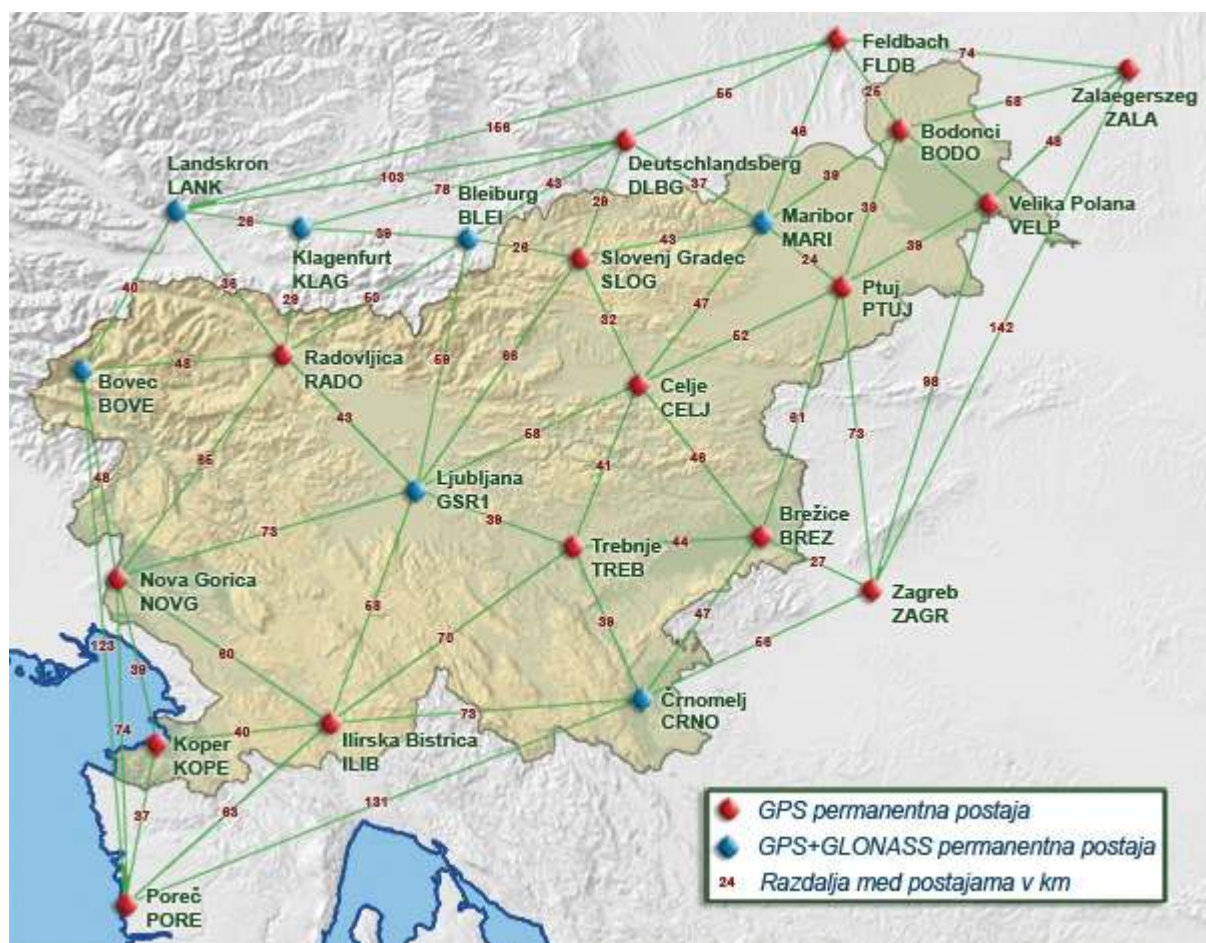
- omejeno območje delovanja radijskih zvez (do 10km)
- več občutljivih tehnologij deluje istočasno in lahko onemogoči merjenje (motnje ali izguba radijskega/GPS signala...)
- napetosti na osnovnem geodetskem sistemu vplivajo na natančnost transformacije iz WGS84 v državni koordinatni sistem

## 4.6.2 Omrežje SIGNAL

V Slovenije je vzpostavljeno državno omrežje stalnih GPS-postaj z imenom SIGNAL (Slovenija-Geodezija-NAvigacija-Lokacija), ki za delovanje uporablja RTK metodo izmere. Za njegovo delovanje skrbi Služba za GPS.

Omrežje SIGNAL je temeljna državna geoinformacijska infrastruktura za določanje preciznega položaja s sodobno satelitsko tehnologijo GPS povsod na ozemlju Slovenije. Strateški cilj omrežja SIGNAL je predvsem praktična realizacija novega državnega koordinatnega sistema, ki bo zaradi homogene geodetske natančnosti prinesel večjo varnost in kakovost nepremičninskih in drugih prostorskih podatkov.

Omrežje sestavlja 15 permanentnih postaj GPS in nadzorno-distribucijski center Službe za GPS na Geodetskem inštitutu Slovenije, ki z omrežjem tehnično upravlja. Vsaka permanentna postaja je sestavljena iz sprejemnika in antene GPS ter komunikacijskih naprav. V centru Službe za GPS je strežniška oprema z domačo stranjo omrežja ([www.gu-signal.si](http://www.gu-signal.si)) in programom za nadzor omrežja, izračun in posredovanje popravkov položaja v realnem času ter za naknadno obdelavo. Postaja v Ljubljani je vključena v evropsko mrežo permanentnih postaj EPN (angl. European Permanent Network). Omrežje SIGNAL v realnem času izmenjuje tudi podatke s petimi postajami avstrijske mreže APOS in s postajo v Zagrebu.



Slika 24: Omrežje SIGNAL

Omrežje postaj GPS je za uporabnika pomembno zaradi določitve relativnega oz. diferencialnega položaja lastnega sprejemnika glede na izbrano GPS postajo v omrežju. Tako določen položaj je neprimerljivo natančnejši kot absolutni položaj, določen brez navezave na omrežje. Za navezavo GPS meritev na fizično realizacijo koordinatnega sistema potrebujemo dva GPS sprejemnika. Omrežje torej omogoča racionalnejšo izmero, saj uporabniku nadomešča referenčni sprejemnik. Za izmero rabi le še premičnega, vlogo referenčnega sprejemnika pa prevzema sistem omrežja SIGNAL.

#### **4.6.2.1 Infrastruktura omrežja SIGNAL**

V omrežje SIGNAL je vključenih 15 stalnih GPS postaj, ki so komunikacijsko povezane s centrom omrežja.

Ljubljanska permanentna postaja, ki je vključena v evropsko omrežje permanentnih postaj (angl. European Permanent Network - EPN) podatke pošiljajo vsako uro v podatkovni center EUREF (angl. European Reference Frame), ki deluje v okviru Mednarodne zveze za geodezijo (angl. International Association of Geodesy - IAG). Na vseh postajah omrežja so postavljeni dvofrekvenčni GPS sprejemniki z antenami, ki izvajajo opazovanja neprekinjeno 24 ur na dan in 365 dni na leto.

Lokacija postaj je izbrana tako, da so le-te približno enakomerno razporejene po območju države in da so maksimalne oddaljenosti med postajami manjše od 70 km. S tako oddaljenostjo med stalnimi GPS postajami lahko uporabnik doseže visoko natančnost določitve položaja na celotnem območju države ob uporabi VRS opazovanj. Izračun VRS opazovanj je možen samo v omrežjih, ki so tako kot omrežje SIGNAL centralno vodena. Dvofrekvenčni sprejemniki GPS z antenami na lokacijah stalnih GPS postaj 24 ur na dan sprejemajo in beležijo signale, oddane s satelitov sistema GPS. Podatki se preko svetovnega spleta prenašajo v center Službe za GPS. Tu so obdelani s programsko opremo GPSNet in pretvorjeni v format zapisa RINEX (angl. Receiver INdependent EXchange format), ki je neodvisen od tipa uporabnikovega sprejemnika. Hkrati je tvorjen tudi podatkovni tok v formatu RTCM, ki je v realnem času posredovan naprej uporabniku na terenu.

Programski paket GPSNet omogoča:

- centralno upravljanje omrežja v realnem času
- distribucijo opazovanj preko centra omrežja
- kontinuirani izračun popravkov ionosfere, troposfere, položaja satelitov in neznanega števila celih valov za vsako postajo iz omrežja
- izračun VRS opazovanj za poljubno lokacijo v omrežju.

#### **In kako določamo položaj z navezavo na VRS?**

VRS (angl. Virtual Reference Station) je tehnika za zagotavljanje omrežnih popravkov opazovanj, in sicer glede na poljubno izbrano referenčno točko znotraj omrežja stalnih postaj.

Uporabnikov sprejemnik mora omogočati dvosmerno komunikacijo, t.j. oddajanje in sprejemanje podatkov. Po določitvi absolutnega položaja, le-tega v obliki NMEA sporočila (GGA stavek) pošlje v center omrežja. V centru se na podlagi opazovanj vseh GPS postaj generira model vplivov na opazovanja in nato se izračunajo interpolirane vrednosti vplivov za položaj uporabnika. Na podlagi modeliranih vplivov se izračunajo vrednosti opazovanj, ki bi jih izvedel fizični sprejemnik na lokaciji v bližini uporabnika. Ta opazovanja imenujemo VRS opazovanja, položaj za katerega so opazovanja generirana pa VRS postaja. Iz centra omrežja se nato pošiljajo podatki VRS postaje v obliki RTCM sporočila in uporabnik jih obravnava enako kot bi obravnaval RTCM sporočila z opazovanji fizične GPS postaje. Način določitve položaja na strani uporabnika ostaja nespremenjen, natančnost določitve položaja pa je lahko zelo visoka, kljub veliki oddaljenosti od najbližje fizične GPS postaje.

<b>Ime GPS postaje</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Tip sprejemnika</b>	<b>Tip antene</b>	<b>Višina antene</b>
Bodonci	BODO	Leica GRX1200	Zephyr Geodetic w/Radome	0.065 m
Bovec	BOVE	Trimble NetR5	Zephyr Geodetic w/Radome	0.065 m
Brežice	BREZ	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0.065 m
Celje	CELJ	Leica GPS1200	AX1202	0.065 m
Črnomelj	CRNO	Trimble NetR5	Zephyr Geodetic 2 w/Radome	0.065 m
Ilirska Bistrica	ILIB	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0.065 m
Koper	KOPE	Leica GPS1200	AT504 w/LEIS Dome	0.065 m
Ljubljana	GSR1	Leica GRX1200GG PRO	AT504GG/LEIS	0.065 m
Maribor	MARI	Leica GRX1200GG PRO	LeicaAT504GG/LEIS Dome	0.065 m
Nova Gorica	NOVG	Leica GPS1200	AT504 w/LEIS Dome	0.065 m
Ptuj	PTUJ	Leica GPS1200	AX1202	0.065 m
Radovljica	RADO	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0.065 m
Slovenj Gradec	SLOG	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0.065 m
Trebnje	TREB	Trimble NetRS	Zephyr Geodetic w/Radome	0.065 m
Velika Polana	VELP	Leica GPS1200	AT504 w/LEIS Dome	0.065 m

**Tabela 4: Postaje omrežja SIGNAL in njihove lastnosti [17]**

#### 4.6.2.2 Osnovni princip delovanja omrežja SIGNAL

Uporabnik lahko z lastnim prenosnim sprejemnikom GPS meri položaj brez uporabe permanentnih postaj le na 10 do 15 metrov natančno, saj so satelitski signali popačeni zaradi atmosferskih in drugih motenj. Položaj vsake permanentne postaje pa je zelo natančno geodetsko izmerjen vnaprej. Permanentna postaja lahko zato iz prejetih satelitskih signalov določi lastni položaj in ga primerja z znanim ter tako dobi diferencialne popravke položaja. Če uporabnik svoje meritve izboljša s popravki ene same permanentne postaje omrežja, potem v radiju 20 km okrog nje meri z natančnostjo nekaj centimetrov. Če pa se uporabnik naveže na omrežje permanentnih postaj SIGNAL, ki v centru Službe za GPS popravke izračunava iz več postaj hkrati, pa takšno centimetrsko natančnost doseže na celotnem državnem ozemlju. Pri tem je dovolj, da so postaje omrežja med seboj oddaljene do 70 km.

Podrobneje podatkovni tok od satelita do uporabnika poteka takole [2]:

1. Sateliti GPS neprestano oddajajo signale proti Zemlji. Signal s satelita nosi kodirano informacijo o položaju satelita v orbiti.
2. Permanentne postaje omrežja SIGNAL sprejemajo signale trenutno vidnih satelitov. Položaji permanentnih postaj GPS so s preciznimi geodetskimi meritvami določeni vnaprej in zato znani.
3. Signal se pretvori v podatkovni tok, ki se s permanentne postaje GPS z varnim protokolom VPN (angl. Virtual Private Network) po komunikaciji preko ADSL prenese v center Službe za GPS.
4. Satelitski signali so na poti do permanentnih postaj podvrženi različnim popačenjem. V centru Službe za GPS programska oprema izračunava položaj permanentne postaje in ga primerja z znanim.
5. Uporabnik na terenu prižge svoj mobilni sprejemnik GPS in se prijavi v omrežje SIGNAL.
6. Pred začetkom meritev uporabnikov sprejemnik pošlje svoj približni položaj v center Službe za GPS. Omrežje SIGNAL ta položaj privzame kot navidezno referenčno postajo GPS.
7. Iz razlik med danim in izračunanim položajem permanentnih postaj programska oprema v centru izračuna diferencialni popravek položaja za navidezno postajo, ki velja tudi za uporabnikov sprejemnik.
8. Center Službe za GPS popravke položaja samodejno in stalno sporoča priključenemu uporabniku. Komunikacija do uporabnika lahko teče preko omrežja mobilne telefonije ali preko mobilnega interneta (internetnega radia, GPRS, UMTS, EDGE) po protokolu NTRIP (angl. Network Transfer of RTCM data via Internet Protocol).
9. Sprejemnik približni položaj, ki je določen s prostorsko triangulacijo iz vsaj štirih vidnih satelitov, popravi s pomočjo prejetih popravkov.

Ker celotna pot podatkov od sprejema v omrežje SIGNAL pa do uporabnika traja manj kot dve sekundi, lahko uporabnik natančen položaj pridobi praktično v realnem času, tudi če se giblje.

Uporabnik pa lahko meri tudi brez omrežja SIGNAL in šele po prihodu v pisarno z domače strani omrežja prečrpa diferencialne popravke v formatu RINEX za eno samo postajo ali za omrežno rešitev VRS na svoj računalnik. Kadar mobilno telefonsko omrežje ni na razpolago, sateliti pa so vidni, je to tudi najboljša možnost za meritve.

Metoda RTK, ki je uporabljena pri delovanju omrežja SIGNAL, je eden od načinov, kako z ne preveč dragim GPS sprejemnikom zadostiti potrebam uporabnika, pri doseganju večjih natančnosti pri pozicioniranju. Nove rešitve, ki vključujejo cenejše GPS sprejemnike, se vedno bolj pojavljajo. Ena izmed njih je inverzni sistem DGPS (IDGPS), ki je opisan v naslednjem poglavju.



## 5 Inverzni DGPS

IDGPS je nasproten koncept DGPS-ja, kjer mobilni sprejemniki pošiljajo razdalje, faze ali meritve razdalje ali izračunane pozicije, referenčnim postajam. Referenčna postaja spremlja satelite. S korekcijskimi popravki podatkov, ki jih dobijo iz mobilnih sprejemnikov, se določijo bolj natančne pozicije mobilnih sprejemnikov. Medtem, ko ima pri DGPS-ju mobilni uporabnik povratno informacijo, oz. s korekcijami izboljša pozicijo, pri IDGPS-ju tega nima. Natančna pozicija je poznana zgolj referenčni postaji.

### 5.1 GPS meritve

Sprejemnikove meritve razdalj imajo nekaj napak.

$$P = \rho + d_p + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} + d_{hw} + \varepsilon_p + \varepsilon_{Mp} \quad (4)$$

kjer je:

$P$	izmerjena razdalja kode [m]
$\rho$	geometrijska razdalja med satelitom in sprejemnikovo anteno [m]
$d_p$	napaka orbitalne ravnine, nominalna in SA [m]
$c$	hitrost svetlobe [m/s]
$dt$	napaka ure satelita z upoštevanjem GPS časa, nominalna in SA [s]
$dT$	napaka ure satelita z upoštevanjem GPS časa [s]
$d_{ion}$	napaka zaradi ionosfere [m]
$d_{trop}$	napaka zaradi troposfere [m]
$d_{hw}$	napaka zaradi strojne opreme v satelitu in sprejemniku [m]
$\varepsilon_{Mp}$	napaka zaradi širjenja po večjih poteh [m]
$\varepsilon_p$	napaka kode [m]



Pozicija in napaka sredine ure ustreza 2D ali 3D napaki pozicije v kartezičnem koordinatnem sistemu ali krivuljnem koordinatnem sistemu. V krivuljnem sistemu je podana kot:

$$\Delta x = [\Delta\varphi \ \Delta\lambda \ \Delta h \ \Delta T]^T \quad (7)$$

kjer je

$\Delta\varphi$	napaka zemljepisne širine [m]
$\Delta\lambda$	napaka zemljepisne dolžine [m]
$\Delta h$	napaka višine [m]
$\Delta T$	napaka sredine ure [m]

Napaka pozicije je dodana poziciji referenčne postaje kar da pozicijo mobilnega uporabnika.

### ***5.3 IDGPS z uporabo surove pozicije***

Namesto surovih meritev lahko mobilni uporabnik pošlje referenčni postaji tudi surovo pozicijo. V tem primeru je nujno, da se poleg surove pozicije pošlje referenčni postaji še številke satelitov, ki so bili uporabljeni pri izračunu pozicije. V primeru da je bil uporabljen pozicijski filter pri mobilnem sprejemniku, potem je potrebno poslati še težo oz. koeficient filtra. Če je mobilni sprejemnik uporabil ionosferski oz. troposferski model za korekcije, potem mora biti referenčna postaja o tem ravno tako obveščena.

Referenčne postaje naj bi bile nameščene tako, da imajo možnost spremljanja vseh satelitov, in s tem pridobiti meritve iz satelitov, katere bi lahko mobilni sprejemnik uporabil za računanje pozicije. V primeru da referenčna postaja ni mogla dobiti meritev iz satelita, katerega je uporabil mobilni sprejemnik, potem je bolje da se pozicija ne popravlja.

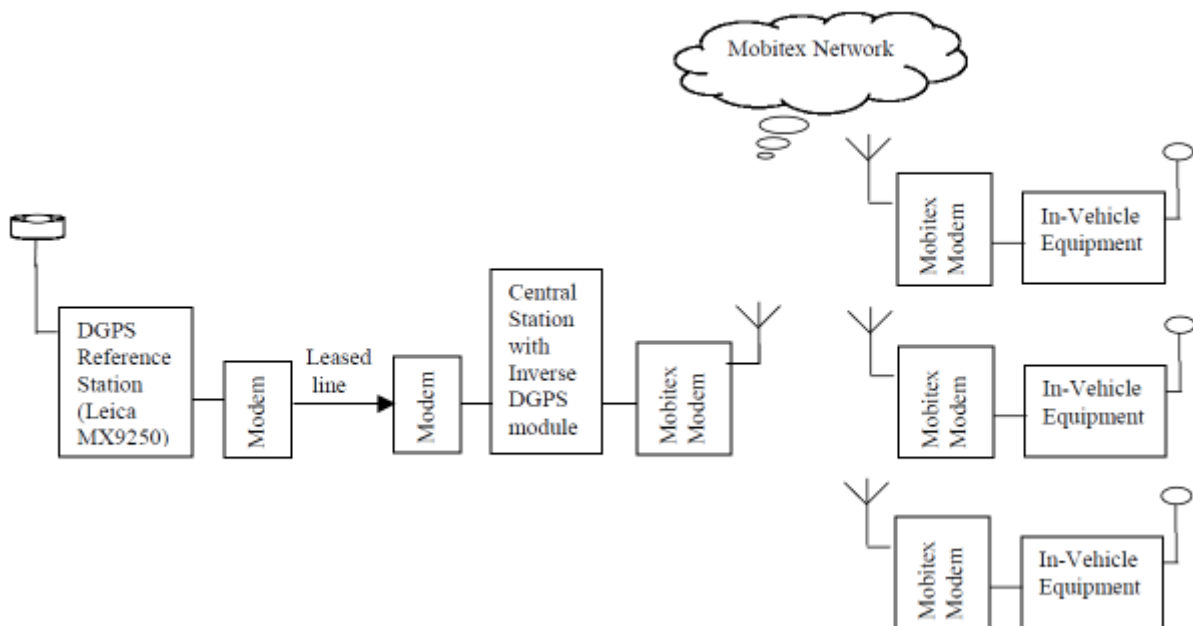
### ***5.4 IDGPS arhitektura***

Sistem so razvili v Singapurju [4] in je sestavljen iz kontrolne postaje, referenčne postaje in 250 setov opreme za avtomobile. Referenčna postaja je opremljena z Leica MX9250 sprejemnikom, antena pa je dvignjena visoko v zrak, s čimer se poveča vidljivost satelitov in zmanjša možnost širjenja po večjih poteh.

Podatki iz referenčne postaje se prenašajo prek modema z 9600 b/s do računalnika, na katerem teče programska oprema IDGPS.

Mobilni uporabniki imajo nizko cenovni GPS sprejemnik in komunikacijsko povezavo, preko katere pošiljajo svoje podatke kontrolni postaji. Podatki se pošiljajo po varni povezavi preko omrežja Mobitex.

Referenčna postaja pošilja podatke o korekcijah satelitov v RTCM formatu. Mobilni uporabnik pošilja podatke v predefinirani obliki enkrat na 30 sekund.



Slika 26: Arhitektura IDGPS sistema

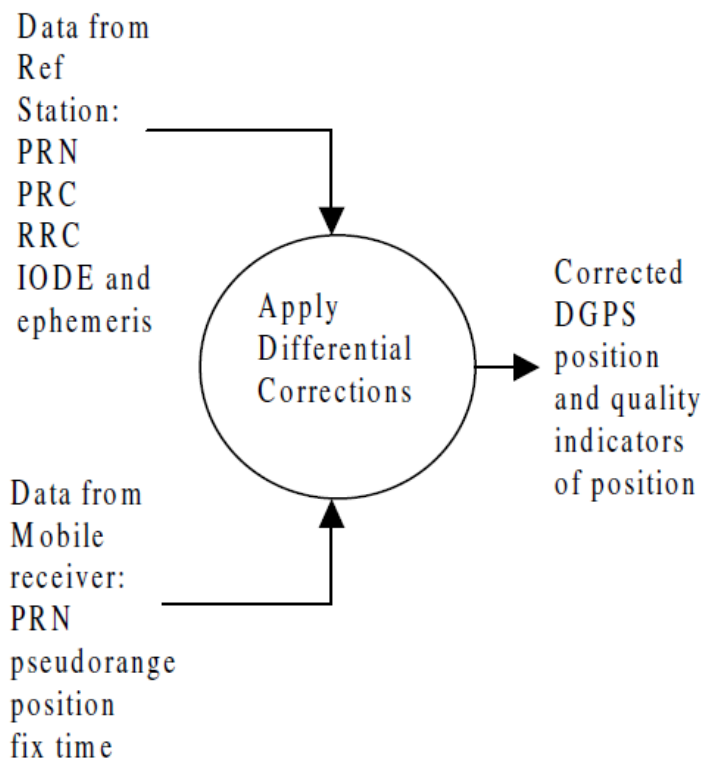
## 5.5 Tok podatkov

Leica MX9250 v referenčni postaji je nastavljena tako, da pošilja RTCM sporočila tipa 1 in efemeride satelitov s hitrostjo 9600 b/s. RTCM sporočilo tipa 1 vsebuje PRC (angl. Pseudo-Range Corrections), RRC (angl. RangeRate Corrections), IODE (angl. Issue Of Data Ephemeris) kar se uporablja za generiranje popravkov za vse satelite.

Podatki iz mobilnega sprejemnika se pošiljajo v formatu VMI (angl. Vehicle Movement Information), kateri vsebuje:

- id avtomobila
- pozicijo avtomobila
- id satelita in psevdorazdalje vseh satelitov

Diferencialni popravki iz referenčne postaje se upoštevajo na podatkih psevdorazdalj mobilnega uporabnika.

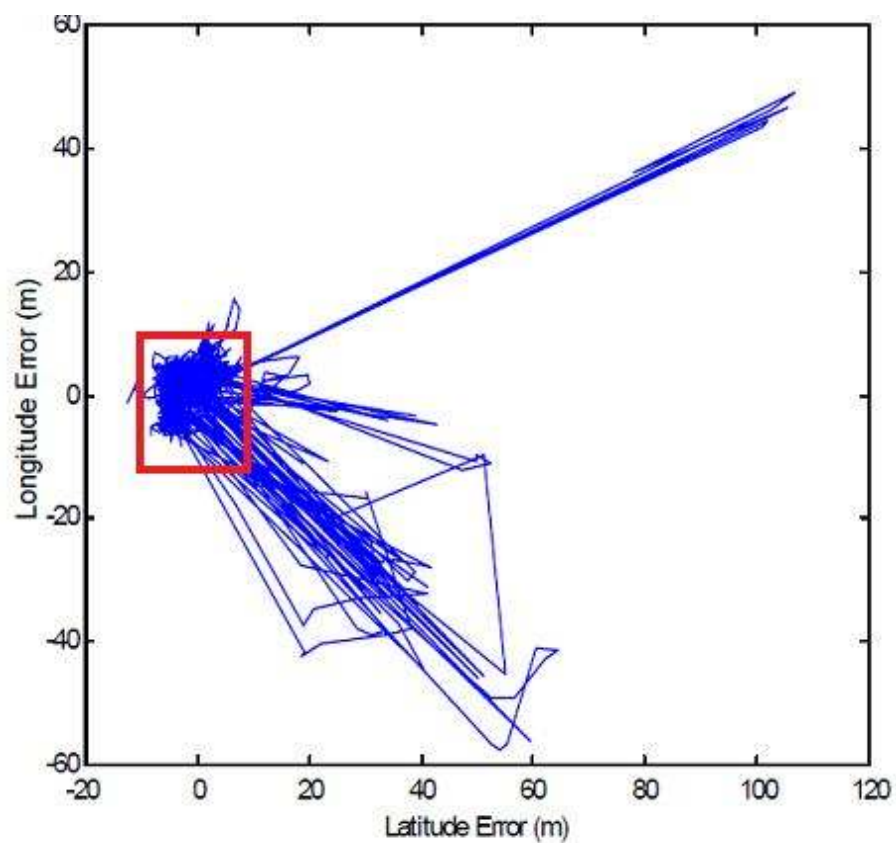


Slika 27: Diagram toka podatkov IDGPS sistema

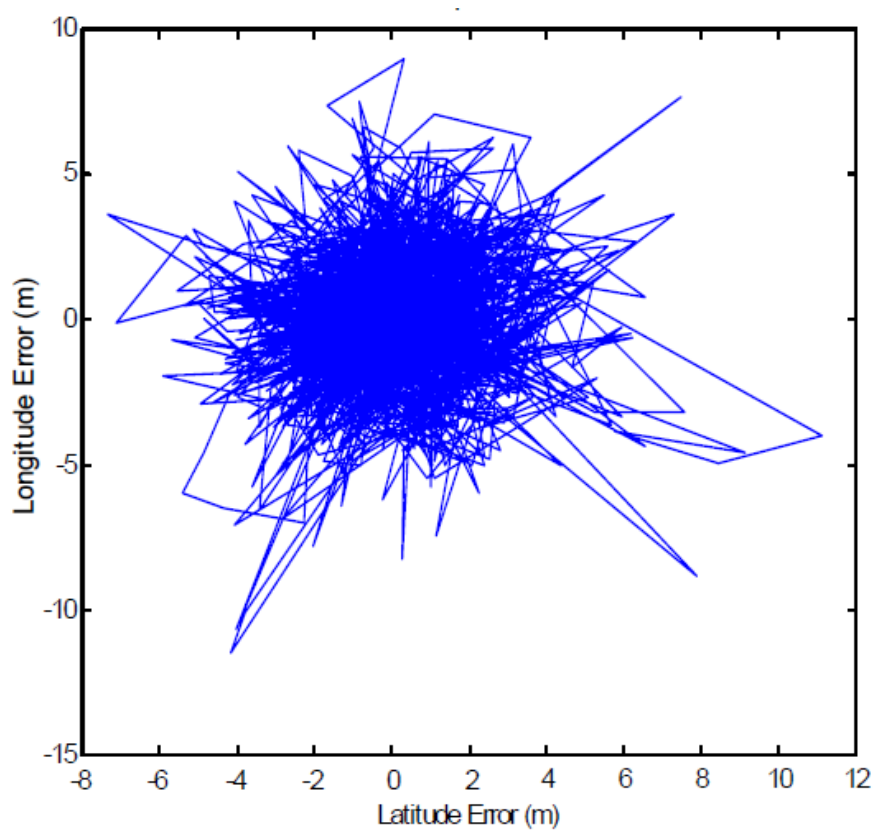
## 5.6 Statičen test

Med statičnim testom je bila mobilna oprema, se pravi sprejemnik, postavljen na vrhu stavbe. Test je trajal en dan, sprejemnik pa je pošiljal pozicije dvakrat na minuto.

Slika 28 prikazuje napako zemljepisne širine v odvisnosti od napake zemljepisne dolžine pred IDGPS korekcijo. Napaki zemljepisne širine in dolžine sta bili izračunani, tako da se iz vzorcev vhodnih podatkov odšteje povprečje (sredina) zemljepisne širine oz. dolžine vzorcev vhodnih podatkov. Na sliki se vidi, da sta napaki zemljepisne širine oz. višine med -15 in 15 m. Posamezna odstopanja so vzrok napak širjenja signala po večjih poteh oz. slabe geometrije.



Slika 28: Napaka pozicije pred IDGPS korekcijo



Slika 29: Napaka pozicije po IDGPS korekciji

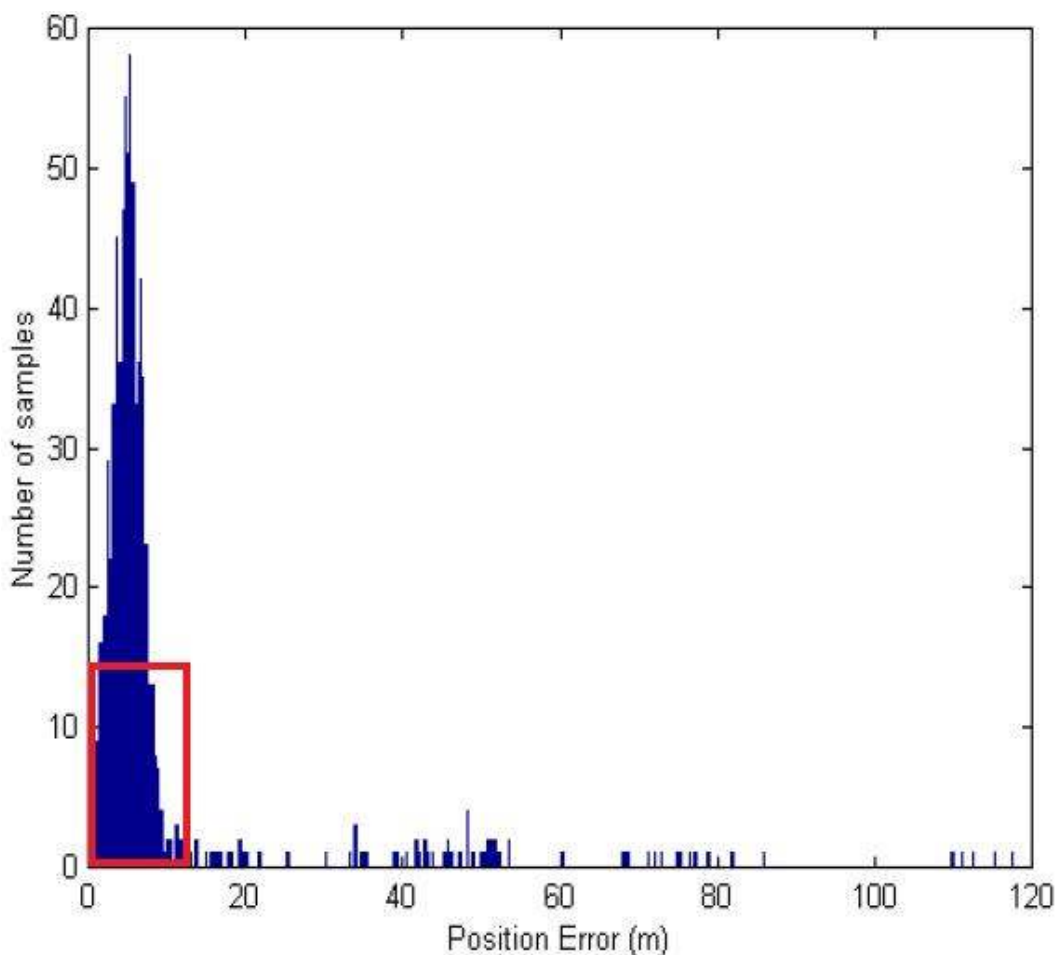
Slika 29 prikazuje napako zemljepisne širine in dolžine po IDGPS korekciji. Iz slike je razvidno, da je napaka veliko manjša in je med -5 in 5 m. Večina napak, ki so izstopale v primeru na zgodnji sliki je odpravljenih.

$$\text{Horizontalna napaka pozicije} = \sqrt{\varphi_e^2 + \lambda_e^2} \quad (8)$$

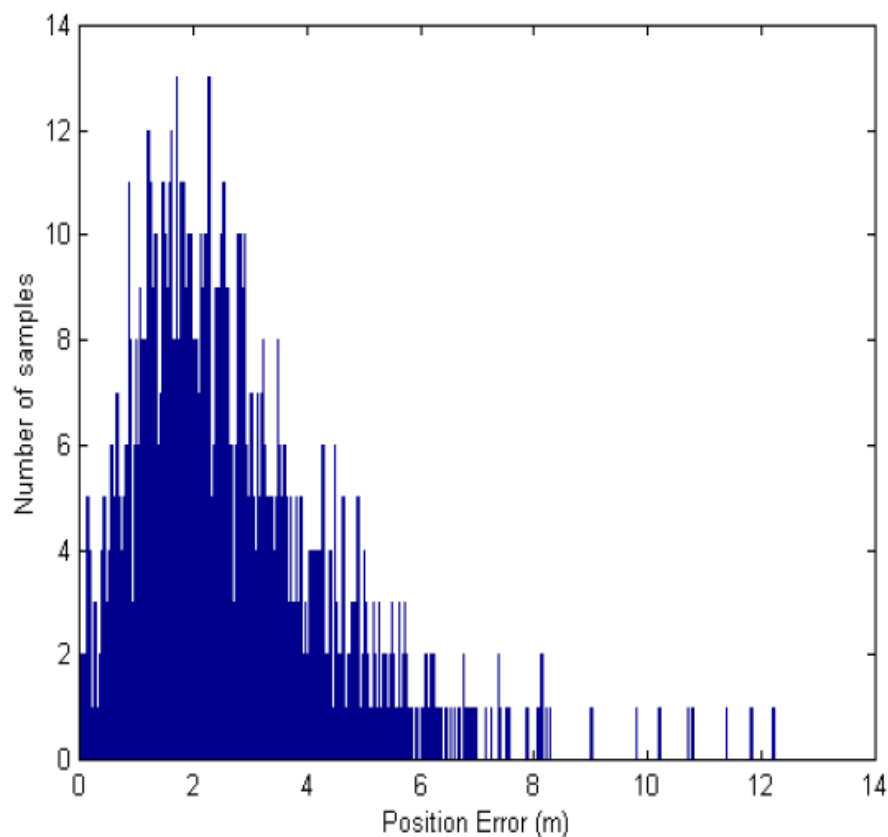
$\varphi_e$  napaka zemljepisne širine

$\lambda_e$  napaka zemljepisne višine

X os predstavlja horizontalno napako pozicije, Y pa število vzorcev za določeno napako. Iz slike je lepo vidno, da je napaka tudi preko 100 m, in ravno tako da je večina napak približno 5 m. Statističen izračun iz podatkov histograma pove, da je število vzorcev, kjer je horizontalna napaka manjša kot 5 m manj kot 50%.



Slika 30: Histogram napak pozicije pred IDGPS korekcijo



**Slika 31: Histogram napak pozicije po IDGPS korekciji**

	Pred IDGPS	Po IDGPS
Trajanje	15.8 ur	15.8 ur
Število vzorcev	1819 (100%)	1081 (99%)
Frekvenca vzorca	30 sek / vzorec	30 sek / vzorec
Standardna deviacija napake horizontalne pozicije	10.7 m	1.6 m
Vzorci z napako horizontalne pozicije manj kot 5 m	49%	92%
Razlika v zemljepisni širini	119.4 m	18.5 m
Razlike v zemljepisni dolžini	106.6 m	20.5 m
Največja horizontalna napaka	117.6 m	12.2 m

**Tabela 5: Rezultati statičnega testa**



## 5.7 Mobilni test

Mobilni test je bil izveden v mestu Singapur. Avto je bil opremljen z GPS sprejemnikom in komunikacijsko opremo za pošiljanje podatkov referenčni postaji vozil po mestu. Na ta način je zbiral ter pošiljal podatke približno pol ure.

	Pred IDGPS	Po IDGPS
Trajanje	30 min	30 min
Število vzorcev	70 (100%)	59 (84.3%)
Frekvenca vzorca	10 sek / vzorec	10 sek / vzorec
Razlika pozicije pred in po IDGPS	12.89 m	

**Tabela 6: Rezultati mobilnega testa**

Tabela ne vsebuje podatkov o absolutni natančnosti pozicije pred in po IDGPS korekciji, kajti natančna pozicija mobilnega uporabnika ni znana.

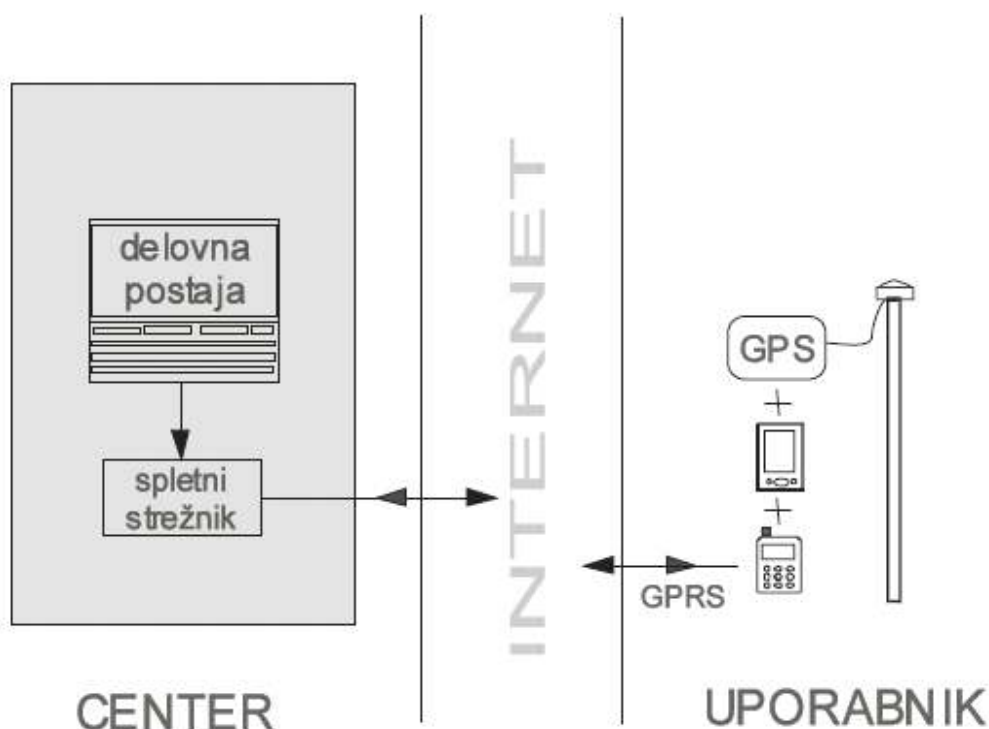


## 6 Poskus izvedbe sistema za diferencialno GPS pozicioniranje

Ker so diferencialni sprejemniki, ki nam omogočajo natančnejše določanje pozicije zelo dragi, cene takega sprejemnika so več tisoč evrov, in zato večini ljudi nedosegljivi se vedno išče alternativa kako npr. z nizkocenovnim GPS sprejemnikom doseči isti nivo oz. se približati nivoju natančnosti pozicioniranja, kakršno nam zagotavlja DGPS.

Ideja ja bila pripraviti okolje s katerim bi lahko iz GPS sprejemnika brali podatke o satelitih oz poziciji sprejemnika ter s pomočjo NTRIP odjemalca (glej poglavje 6.1.3.1) in omrežja SIGNAL pridobili korekcije. Podatke GPS sprejemnika bi se obdelalo v primerno obliko, ki bi služila v nadaljnjem postopku popravljanja pozicije. Program, kateri bi služil zajemu in obdelavi podatkov naj bi tekel na prenosniku z modrozobo povezavo, katera bi služila za povezavo z GPS sprejemnikom.

Po obdelavi podatkov v primerno obliko in s pomočjo korekcij, ki smo jih pridobili z NTRIP odjemalcem, bi popravili pozicijo sprejemnika in s tem poskušali pridobiti na natančnosti pozicioniranja.



Slika 32: Idejna zasnova sistema

GPS sprejemnik katerega bi uporabljali je Navilock BT-338, ta naj bi imel proti ostalim sprejemnikom to prednost, da ima SiRF III čipset, kar bi nam omogočalo lažje pridobivanje

podatkov iz sprejemnika, kajti uporablja SiRF binarni protokol. prav tako pa lahko uporabljamo za pridobivanje podatkov NMEA stavke.



**Slika 33: GPS sprejemnik Navilock BT-338**

SiRF III čipset je prinesel veliko dobrih stvari. V prednost mu lahko štejemo, da hitreje določi pozicijo ob vklopu sprejemnika, za kar se uporablja izraz angl. Time-To-First-Fix - TTFF, pri t.i. toplem zagonu (angl. warm start), kar pomeni da ko prižgemo GPS sprejemnik mora sprejeti signale od satelitov preden lahko naredi triangulacijo, da določi pozicijo sprejemnika. Če GPS sprejemnik omogoča, da ob zagonu le ta ugotovi, da smo bili npr. že včeraj na približni istem mestu, lahko hitreje določi pozicijo sprejemnika.

Druga dobro lastnost, ki mu jo pripisujejo, je da deluje tudi na področjih z nizkim signalom satelitov, kot so območja ki jih zakrivajo drevesne krošnje, zaprti prostori, se pravi območja ki niso na odprtem nebu.

Kljub vsem lepim lastnostim, ki nam jih nudi sprejemnik, se zastavljenega cilja ni uspelo izpolniti. SiRF III čipset ne omogoča več zajema vseh podatkov, katere je nudil njegov predhodnik, to je SiRF II, ta pa ni več v prodaji, tako da je ostalo le pri ideji, kako narediti sistem, ki nam bi z nizko cenovnim GPS sprejemnikom omogočal natančno določanje pozicije.

Za razvoj sistema sem se nanašal na kodo [1], ki je bila deležna parih predelav in je zaenkrat močno oskubljena. Zaenkrat obstaja samo ogrodje, kjer bi bilo potrebno še veliko dela.

Ostale funkcije, ki so uporabljene, potrebujejo implementacijo ali pa jih lahko najdemo v [1].

```

function [navSolutions] = postNavigation(trackResults, settings)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%#  Do the satellite and receiver position calculations
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Get satellites visible to GPS reciever
activeChnList = GetAvaliableSatellites(trackResults);

% Save list of satellites used for position calculation
navSolutions.channel.PRN(activeChnList, currMeasNr) = GetAvaliableSatellites();

%% Get pseudoranges
navSolutions.channel.rawP = GetPseudorangesFromGPSDevice(trackResults);

%% Get corrections
corr = GetCorrectionsFromNTRIPClient();

%% Find satellites positions and apply corrections
[satPositions, corr] = correctPseudoranges();

%% Find receiver position

% 3D receiver position can be found only if signals from more than 3
% satellites are available
if size(activeChnList, 2) > 3

    %Calculate receiver position
    [xyzdt, ...
     navSolutions.channel.el(activeChnList), ...
     navSolutions.channel.az(activeChnList), ...
     navSolutions.DOP(:, currMeasNr)] = ...
        leastSquarePos(satPositions, ...
                        navSolutions.channel.rawP(activeChnList) + corr, settings);

    % Save results
    navSolutions.X= xyzdt(1);
    navSolutions.Y = xyzdt(2);
    navSolutions.Z = xyzdt(3);
    navSolutions.dt = xyzdt(4);

%% Coordinate conversion

% Convert to geodetic coordinates
[navSolutions.latitude...
 navSolutions.longitude, ...
 navSolutions.height = cart2geo(navSolutions.X, navSolutions.Y( ...

```

```

        navSolutions.Z, 5);

%Convert to UTM coordinate system
navSolutions.utmZone = findUtmZone(navSolutions.latitude, ...
    navSolutions.longitude);

[navSolutions.E, ...
navSolutions.N, ...
navSolutions.U] = cart2utm(xyzdt(1), xyzdt(2), ...
    xyzdt(3), ...
    navSolutions.utmZone);

else % if size(activeChnList, 2) > 3
    %--- There are not enough satellites to find 3D position -----
    disp([' Not enough information for position solution.']);

end % if size(activeChnList, 2) > 3

```

## 6.1 NTRIP Protokol

Ntrip (angl. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) je protokol za pretok podatkov GNSS preko interneta. Ntrip je generični protokol, ki temelji na pretočnem protokolu HTTP/1.1 (angl. HyperText Transfer Protocol).

Ntrip je bil razvit za prenos diferencialnih popravkov ali drugih vrst podatkov GPS do stacionarnih ali mobilnih uporabnikov preko interneta. Protokol omogoča vzpostavitev hkratne povezave namiznih računalnikov, prenosnikov ali dlančnikov do t. i. gostitelja. Ntrip podpira brezžični dostop interneta preko mobilnih omrežij, kot so GSM, GPRS, EDGE UMTS ali WLAN.

Ntrip sestavljajo tri glavne programske komponente: NtripClient, NtripServer in NtripCaster. NtripCaster predstavlja dejanski strežnik http, medtem ko sta NtripClient in NtripServer odjemalca HTTP.

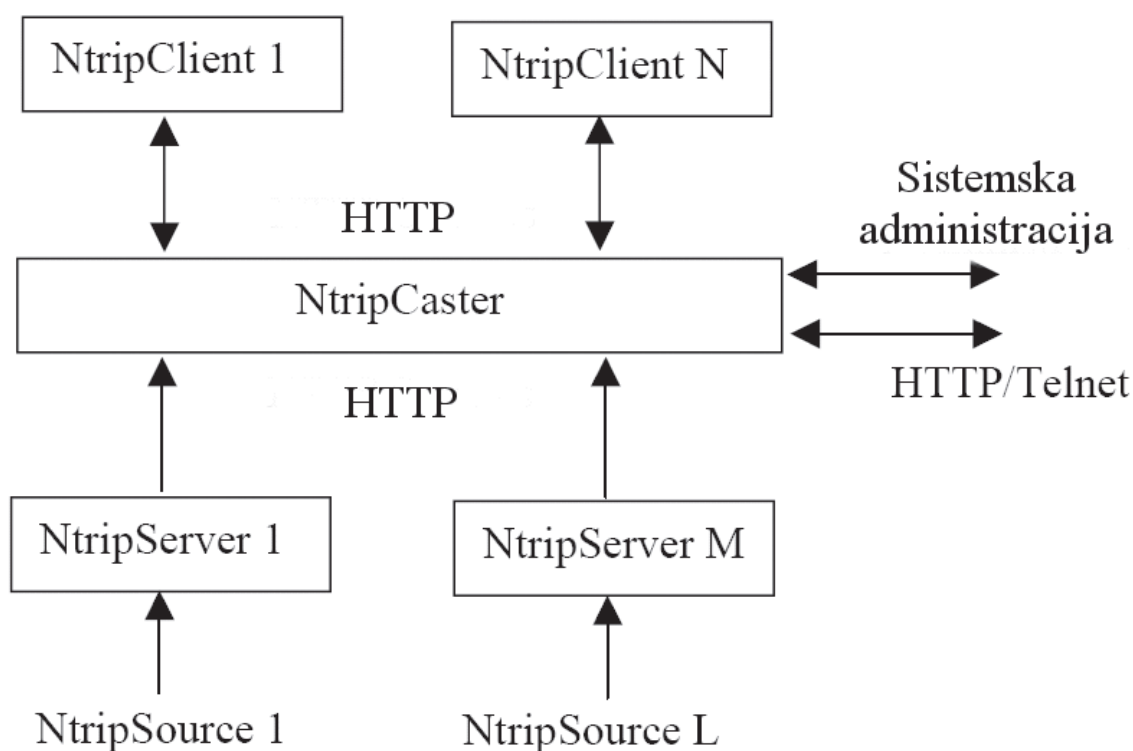
Protokol Ntrip in vse programske aplikacije so razvili na Zveznem uradu za kartografijo in geodezijo (nem. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie - BKG) v Frankfurtu. Organizacija RTCM je leta 2004 priznala Ntrip kot standard.

### 6.1.1 Koncept sistema

Ntrip temelji na internetnem protokolu HTTP/1.1, vendar zaradi dodatnih sporočil ni popolnoma združljiv s HTTP. Za prenos podatkov uporablja niz protokolov TCP/IP. Protokol HTTP deluje na principu zahteva/odgovor, lahko pa služi tudi za tokovne komunikacije.

Sistem Ntrip vsebuje naslednje elemente :

- NtripSource: vir, ki generira podatkovni tok na določeni lokaciji,
- NtripServer: strežnik, ki pošilja podatke z vira do glavne sistemske komponente,
- NtripCaster: glavna sistemska komponenta,
- NtripClient: odjemalec, ki sprejema podatke z zahtevanega vira preko strežnika NtripCaster.



Slika 34: Shema koncepta Ntrip

NtripServer določi oznako vira, t. i. angl. »mountpoint«, za vsak vir NtripSource. Različni odjemalci lahko dostopajo do podatkov želenih virov istočasno z izbiro oznake vira na modulu NtripCaster.

Odjemalec NtripClient izbere določeni vir NtripSource na podlagi oznake »mountpoint«. Uporabnik običajno želeni vir izbere na seznamu virov (angl. source-table). Seznam virov vzdržuje NtripCaster. Če odjemalec zahteva napačen ali neobstoječ vir, NtripCaster naloži ažuren seznam virov, iz katerega lahko odjemalec nato izbere pravilen vir NtripSource. [5]

## 6.1.2 Elementi sistema

NtripSource je praviloma sprejemnik GPS, postavljen na točki z znanim položajem. Sprejemnik pošilja podatke opazovanj GPS v t. i. surovi obliki ali v standardnem formatu RTCM.

NtripServer prenaša podatke GPS z NtripSource-a do NtripCaster-ja. NtripServer je lahko računalniški program na računalniku, ki je povezan s sprejemnikom, lahko pa je že vgrajen v sprejemniku, npr. namenski sprejemniki za referenčne postaje že vsebujejo NtripServer. Povezava NtripServer–NtripCaster je praviloma zaščitena.

NtripCaster je strežnik HTTP, ki deluje na principu zahteva/odgovor in je prilagojen nizkim pasovnim širinam (od 50 do 500 bitov na sekundo). NtripCaster sprejema sporočila z zahtevami z NtripServer-ja ali z NtripClient-a. Glede na vrsto sporočil NtripCaster določi, ali je podatke treba sprejemati ali pošiljati. NtripCaster upravljajo sistemski administratorji preko Telnet ali spletnega brskalnika. Upravljanje je zaščiteno z geslom.

NtripCaster je lahko ločena aplikacija, ki teče v operacijskem sistemu Linux, lahko pa je vgrajena v programe za mrežno obravnavo podatkov omrežja permanentnih postaj. Za Linux so se avtorji odločili na osnovi splošno priznanega dejstva, da je precej bolj stabilen in ga je lažje nastaviti kot sisteme Windows.

NtripClient ima možnost sprejema podatkov z NtripCaster-ja, če pošlje pravilno zahtevo (pravilen naslov NtripCaster, pravilna vrata, pravilen vir). Glede na nastavitve na NtripCasterju lahko NtripClient do podatkov zelenega vira dostopa prosto, lahko pa je povezava zaščitena z geslom.

NtripClient je lahko ločena aplikacija, ki teče v operacijskih sistemih Linux, Windows in Windows CE, lahko pa je vgrajena v programsko opremo v sprejemniku GPS. [5]

## 6.1.3 Uporaba NTRIP

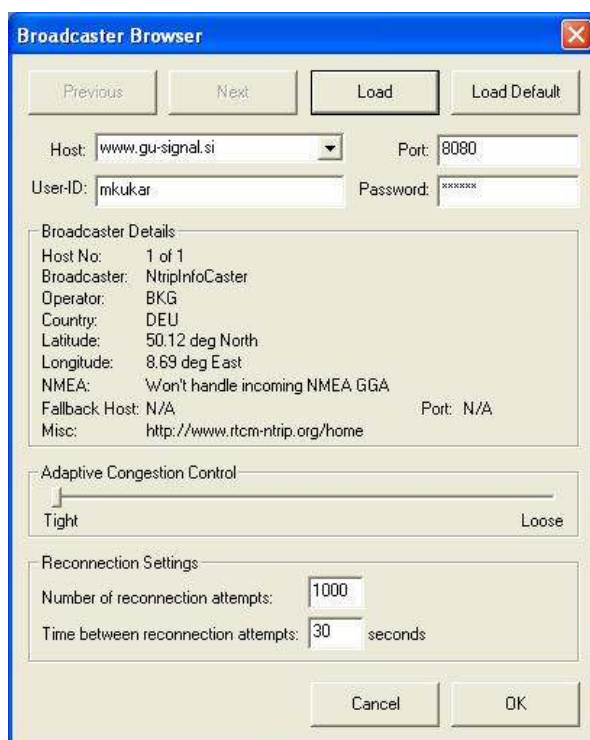
S stališča izvajalca meritev GPS je pomembna predvsem povezava NtripClient–NtripCaster. V slovenskem omrežju permanentnih postaj SIGNAL ima programska oprema Trimble GPSNet, ki omogoča uporabo GPS v t. i. mrežnem konceptu, aplikacijo NtripCaster vgrajeno v modul »iGate«. Preko strežnika so preko »mountpointov« uporabnikom na razpolago vse posamezne postaje, ki tvorijo omrežje, svoj »mountpoint« pa ima tudi VRS, sistem navideznih referenčnih postaj. Podatkovni tok posameznih postaj je identičen za vse uporabnike, tok podatkov VRS pa je za vsakega uporabnika drugačen, odvisen pa je od položaja posameznika. Za razliko od posameznih postaj zahteva VRS približen položaj uporabnika, da lahko mrežna programska oprema nato generira navidezna opazovanja za ta položaj.



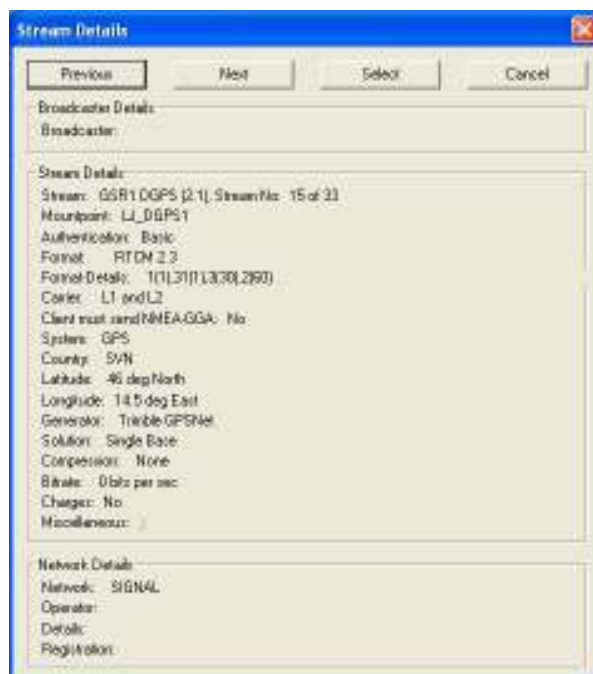
### 6.1.3.1 Odjemalec Ntrip

Avtorji protokola Ntrip in vseh z njim povezanih aplikacij so razvili aplikacije za odjemalce za različne programske platforme: Linux, Windows, Windows CE, Palm OS. Različice Linux in Windows so namenjene namiznim računalnikom in prenosnikom z operacijskimi sistemi Linux in Windows 2000/XP/Vista. Večina uporabnikov na terenu uporablja dlančnike, zato bolj pridejo v poštev različice Windows CE (za dlančnike z oznako Pocket PC) in Palm OS (za dlančnike z oznako Palm).

Uporabnik mora v nastavitvah povezave (slika 35) vpisati pravilen naslov gostitelja (angl. Host) in oznako vrat (angl. Port). Vnesti je treba tudi uporabniško ime (angl. User-ID) in geslo (angl. Password). Po potrditvi se samodejno naloži najnovejši seznam virov. Uporabnik nato izbere želeno postajo ali storitev VRS. Za vsak vir lahko pregledamo osnovne lastnosti, kot je prikazano na sliki 36.



Slika 35: Nastavitev povezave



Slika 36: Opis toka izbranega vira

V aplikaciji nastavimo, kam se naj zapišejo podatki, ki prihajajo preko Ntripa. Izberemo lahko serijska vrata, kamor je npr. priključen sprejemnik GPS (najbolj pogost primer), podatke lahko preusmerimo na drug internetni naslov (podan z IP številko), podatke lahko zapisujemo v datoteko ali pa podatkov ne preusmerimo naprej. V primeru VRS moramo centralnemu računalniku omrežja sporočiti svoj približni položaj, kar se običajno izvede samodejno preko standardnega sporočila NMEA. Če instrument nima izhoda NMEA, lahko svoje približne koordinate vpišemo sami. Po izbiri vira in nastavitvah s pritiskom na gumb START v osnovnem oknu sprožimo tok podatkov z NtripCasterja do NtripClient-a. Okno vsebuje števec količine podatkov in vrstico napredka.

Novejši sprejemniki GNSS, namenjeni za izmero RTK, imajo odjemalca Ntrip vgrajenega v lastno programsko opremo, s pomočjo katere operater instrumenta izvaja izmero. V takem primeru je aplikacija za uporabnika nevidna, saj deluje v ozadju. Uporabnik mora pred prvo uporabo zgolj vnesti potrebne podatke o naslovu in vratih gostitelja ter vnesti uporabniško ime in geslo uporabnika. V določenih instrumentih lahko izberemo način izbire vira, ali običajen RTK ali sistem VRS. Glede na izbiro nam program ponudi samo vire, ki zadoščajo zahtevam, npr. VRS ima običajno en sam vir v posameznem omrežju.

### 6.1.3.2 Ntrip v omrežju SIGNAL

Na spletni strani omrežja SIGNAL ([www.gu-signal.si](http://www.gu-signal.si)) je opisan postopek namestitve odjemalca Ntrip za omrežje SIGNAL. Če ima uporabnik na svojem sprejemniku NtripClient že vgrajen, potrebuje samo številko IP ali spletni naslov gostitelja in oznako vrat. Za dostop do podatkov potrebuje uporabnik tudi uporabniško ime in geslo, za katera lahko zaprosi na spletni strani.

Omrežje SIGNAL trenutno ponuja preko Ntripa naslednje podatke:

- opazovanja posameznih permanentnih postaj v formatu RTCM 2.3,
- navidezna opazovanja VRS v formatu RTCM 2.3 (uporabnik mora v računski center za DGNSS poslati svoj položaj v obliki NMEA GGA sporočila),
- navidezna opazovanja VRS v formatu RTCM 3.0 (uporabnik mora poslati svoj položaj v obliki NMEA GGA sporočila),
- kodni popravki opazovanj posameznih permanentnih postaj za diferencialno določitev položaja (DGPS).

## Zaključek

V diplomskem delu sem uspel predstaviti različne načine pozicioniranja pri GPS sistemu, kje, zakaj se uporabljajo in kakšna je natančnost pri posameznem načinu.

V prvih dveh poglavjih sem spoznal zgodovino razvoja satelitskih sistemov in kako je sestavljen GPS sistem, se pravi iz vesoljskega, kontrolnega in uporabniškega segmenta. Na napake signala ima največji vpliv ionosfera, sledijo pa vpliv troposfere, širjenja signala po večjih poteh, geometrija satelitov, zaokroževanja pri računanju. Te vplive poskušamo zmanjšati s pomočjo diferencialnih sistemov.

Poznamo več različic diferencialnih sistemov. To je diferencialni sistem, ki za delovanje potrebuje referenčno postajo, pozicija le-te je zelo natančno določena. Referenčna postaja spremlja signale satelitov in na podlagi meritev generira korekcije in jih pošilja GPS sprejemnikom. S pomočjo tega dobimo natančnost pozicioniranja okrog 1 m, pri dolgotrajnih meritvah pa tudi manj kot en meter. Drug diferencialni sistem, ki je bil razvit zaradi potreb pri letalstvu, je satelitski sistem za zagotavljanje popravkov. Ta potrebuje za delovanje mrežo zemeljskih postaj, ki posredujejo opazovanja centru, kjer se vršijo izračuni. Center posreduje svoje izračune geostacionarnim satelitom, ki nato oddajajo popravke uporabnikom. Največ se uporablja za navigacijo pri letenju in pomorstvu. Lahko pa ga uporabljajo tudi uporabniki z GPS sprejemniki, ki podpirajo WAAS način delovanja. Zadnja, najnovejša metoda, RTK se največ uporablja pri meritvah v geodeziji. Tudi ta uporablja za delovanje mrežo zemeljskih postaj, katere posredujejo svoje meritve centralnemu računalniku, s to razliko da so potem te meritve dosegljive uporabnikom preko spleta in odjemalca NTRIP. Tega imajo nekateri najnovejši GPS sprejemniki že vgrajenega v sam sprejemnik.

Kot je bilo pričakovati, je najbolj natančna metoda izmere RTK, kjer se lahko doseže nekaj centimetrska natančnost. Pri DGPS pa se natančnost giblje nekje do enega metra, pri dolgotrajnih meritvah pa se spusti tudi pod en meter. Sistemi za zagotavljanje popravkov opazovanj imajo natančnost med enim in dvema metroma, kar naj bi bilo za potrebe letalstva dovolj.

Sistem za diferencialno pozicioniranje, ni bil uspešno realiziran, ker čipset Sirf Star III ne omogoča pridobitev vseh podatkov potrebnih za realizacijo projekta. Potrebno bi bilo poizkusiti z drugimi čipseti. GPS sprejemnika Signav MG5001, ki uporablja čipset Zarlink, in Garmin 25LP, z Garminovim čipsetom, naj bi po specifikacijah zadovoljevala kriterijem. Zaenkrat je bilo narejeno zgolj ogrodje kode, katera naj bi se uporabljala. Bilo bi jo treba še kar precej dopolniti, tako da je v diplomskem delu opisana samo idejna zasnova.



# Priloge

## RTCM format datoteke

RTCM Message Type	Description
1	Differential GPS Corrections
2	Delta Differential GPS Corrections
3	GPS Reference Station Parameters
4	Reference Station Datum
5	GPS Constellation Health
6	GPS Null Name
7	DGPS Beacon Almanac
8	Pseudolite Almanac
9	GPS Partial Correction Set
10	P-Code Differential Correction
11	C/A Code, L1, L2 Delta Corrections
12	Pseudolite Station Parameter
13	Ground Transmitter Parameter
14	GPS Time of Week
15	Ionospheric Delay Message
16	GPS Special Message
17	GPS Ephemerides
18	RTK Uncorrected Carrier Phases
19	RTK Uncorrected Pseudorange
20	RTK Carrier Phase Corrections
21	RTK Pseudorange Corrections
22	Extended Reference Station Parameters
23	Antenna Type Defination
24	Reference Station: Antenna Reference Point (ARP) Parameter
25, 26	Undefined
27	Extended DGPS Radiobeacon Almanac
28...30	Undefined
31	Differential GLONASS Corrections
32	Differential GLONASS Reference Station
33	GLONASS Constellation Health
34	GLONASS Partial Differential Correction Set GLONASS Null Name (N<=1)
35	GLONASS Radiobeacon Almanac
36	GLONASS Special Message

37	GNSS System Time Offset
38..58	Undefined
59	Proprietary Message
60..63	Multipurpose Usage

## RINEX format

TABLE A1 GNSS OBSERVATION DATA FILE - HEADER SECTION DESCRIPTION			
HEADER LABEL (Columns 61-80)	DESCRIPTION	FORMAT	
RINEX VERSION / TYPE	- Format version (2.11) - File type ('O' for Observation Data) - Satellite System: blank or 'G': GPS 'R': GLONASS 'S': Geostationary signal payload 'E': Galileo 'M': Mixed	9.2,11X,  A1,19X,  A1,19X         	             
PGM / RUN BY / DATE	- Name of program creating current file - Name of agency creating current file - Date of file creation	A20,  A20,  A20	   
* COMMENT	Comment line(s)	A60	*
MARKER NAME	Name of antenna marker	A60	
* MARKER NUMBER	Number of antenna marker	A20	*
OBSERVER / AGENCY	Name of observer / agency	A20,A40	
REC # / TYPE / VERS	Receiver number, type, and version (Version: e.g. Internal Software Version)	3A20	
ANT # / TYPE	Antenna number and type	2A20	
APPROX POSITION XYZ	Approximate marker position (WGS84)	3F14.4	
ANTENNA: DELTA H/E/N	- Antenna height: Height of bottom surface of antenna above marker - Eccentricities of antenna center relative to marker to the east and north (all units in meters)	3F14.4       	       
WAVELENGTH FACT L1/2	- Default wavelength factors for L1 and L2 1: Full cycle ambiguities 2: Half cycle ambiguities (squaring) 0 (in L2): Single frequency instrument - zero or blank	2I6,          I6	         

	The default wavelength factor line is required and must precede satellite-specific lines.		
*  WAVELENGTH FACT L1/2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wavelength factors for L1 and L2               <ul style="list-style-type: none"> <li>1: Full cycle ambiguities</li> <li>2: Half cycle ambiguities (squaring)</li> <li>0 (in L2): Single frequency instrument</li> </ul> </li> <li>- Number of satellites to follow in list for which these factors are valid.</li> <li>- List of PRNs (satellite numbers with system identifier)</li> </ul> <p>These optional satellite specific lines may follow, if they identify a state different from the default values.</p> <p>Repeat record if necessary.</p>	2I6, I6, 7(3X, A1,I2)	*
# / TYPES OF OBSERV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Number of different observation types stored in the file</li> <li>- Observation types</li> </ul> <p>If more than 9 observation types: Use continuation line(s)</p> <p>The following observation types are defined in RINEX Version 2.10:</p> <p>L1, L2: Phase measurements on L1 and L2            C1 : Pseudorange using C/A-Code on L1            P1,P2: Pseudorange using P-Code on L1,L2            D1, D2: Doppler frequency on L1 and L2            T1, T2: Transit Integrated Doppler on 150 (T1) and 400 MHz (T2)            S1, S2: Raw signal strengths or SNR values as given by the receiver for the L1,L2 phase observations</p> <p>Observations collected under Antispoofing are converted to "L2" or "P2" and flagged with bit 2 of loss of lock indicator (see Table A2).</p> <p>Units : Phase : full cycles            Pseudorange : meters            Doppler : Hz            Transit : cycles            SNR etc : receiver-dependent</p> <p>The sequence of the types in this record has to correspond to the sequence of the observations in the observation records</p>	I6, 9(4X,A2) 6X, 9(4X,A2)	
*  INTERVAL	Observation interval in seconds	F10.3	*
TIME OF FIRST OBS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Time of first observation record (4-digit-year, month, day, hour, min, sec)</li> <li>- Time system: GPS (=GPS time system)</li> </ul>	I6, F13.7, 5X,A3	

		GLO (=UTC time system)		
		Compulsory in mixed GPS/GLONASS files		
		Defaults: GPS for pure GPS files		
		GLO for pure GLONASS files		
+-----+-----+-----+-----+				
*  TIME OF LAST OBS		- Time of last observation record	I6,	*
		(4-digit-year, month, day, hour, min, sec)	F13.7,	
		- Time system: Same value as in	5X, A3	
		TIME OF FIRST OBS record		
+-----+-----+-----+-----+				
*  RCV CLOCK OFFS APPL		Epoch, code, and phase are corrected by	I6	*
		applying the realtime-derived receiver		
		clock offset: 1=yes, 0=no; default: 0=no		
		Record required if clock offsets are		
		reported in the EPOCH/SAT records		
+-----+-----+-----+-----+				
*  LEAP SECONDS		Number of leap seconds since 6-Jan-1980	I6	*
		Recommended for mixed GPS/GLONASS files		
+-----+-----+-----+-----+				
*  # OF SATELLITES		Number of satellites, for which	I6	*
		observations are stored in the file		
+-----+-----+-----+-----+				
*  PRN / # OF OBS		PRN (sat.number), number of observations	3X, A1,	*
		for each observation type indicated	I2, 9I6	
		in the "# / TYPES OF OBSERV" - record.		
		If more than 9 observation types:		
		Use continuation line(s)	6X, 9I6	
		This record is (these records are)		
		repeated for each satellite present in		
		the data file		
+-----+-----+-----+-----+				
END OF HEADER		Last record in the header section.	60X	
+-----+-----+-----+-----+				

Records marked with \* are optional

TABLE A2			
GPS OBSERVATION DATA FILE - DATA RECORD DESCRIPTION			
OBS. RECORD	DESCRIPTION	FORMAT	
EPOCH/SAT	- Epoch :		
or	- year (2 digits, padded with 0 if necessary)	1X, I2.2,	
EVENT FLAG	- month, day, hour, min,	4 (1X, I2)	
	- sec	, F11.7,	
	- Epoch flag 0: OK	2X, I1,	
	1: power failure between		
	previous and current epoch		
	>1: Event flag		
	- Number of satellites in current epoch	I3,	
	- List of PRNs (sat.numbers with system	12 (A1,	
	identifier, see 5.1) in current epoch	I2),	
	- receiver clock offset (seconds, optional)	F12.9	
	If more than 12 satellites: Use continuation	32X,	
	line(s)	12 (A1,	



			I2)
	If epoch flag 2-5:		
	- Event flag:		[2X,I1,]
	2: start moving antenna		
	3: new site occupation (end of kinem. data) (at least MARKER NAME record follows)		
	4: header information follows		
	5: external event (epoch is significant, same time frame as observation time tags)		
	- "Number of satellites" contains number of special records to follow. Maximum number of records: 999		[I3]
	- For events without significant epoch the epoch fields can be left blank		
	If epoch flag = 6:		
	6: cycle slip records follow to optionally report detected and repaired cycle slips (same format as OBSERVATIONS records; slip instead of observation; LLI and signal strength blank or zero)		
OBSERVATIONS	- Observation	rep. within record for	m(F14.3,
	- LLI	each obs.type (same seq	I1,
	- Signal strength	as given in header)	I1)
	If more than 5 observation types (=80 char): continue observations in next record.		
	This record is (these records are) repeated for each satellite given in EPOCH/SAT - record.		
	Observations:		
	Phase : Units in whole cycles of carrier		
	Code : Units in meters		
	Missing observations are written as 0.0 or blanks.		
	Phase values overflowing the fixed format F14.3 have to be clipped into the valid interval (e.g. add or subtract 10**9), set LLI indicator.		
	Loss of lock indicator (LLI). Range: 0-7		
	0 or blank: OK or not known		
	Bit 0 set : Lost lock between previous and current observation: cycle slip possible		
	Bit 1 set : Opposite wavelength factor to the one defined for the satellite by a previous WAVELENGTH FACT L1/2 line. Valid for the current epoch only.		
	Bit 2 set : Observation under Antispoofing (may suffer from increased noise)		
	Bits 0 and 1 for phase only.		
	Signal strength projected into interval 1-9:		
	1: minimum possible signal strength		

		5: threshold for good S/N ratio		
		9: maximum possible signal strength		
		0 or blank: not known, don't care		
+-----+				

TABLE A3				
GPS NAVIGATION MESSAGE FILE - HEADER SECTION DESCRIPTION				
HEADER LABEL (Columns 61-80)	DESCRIPTION		FORMAT	
RINEX VERSION / TYPE	- Format version (2.10)		F9.2,11X	
	- File type ('N' for Navigation data)		A1,19X	
PGM / RUN BY / DATE	- Name of program creating current file		A20,	
	- Name of agency creating current file		A20,	
	- Date of file creation		A20	
* COMMENT	Comment line(s)		A60	*
* ION ALPHA	Ionosphere parameters A0-A3 of almanac (page 18 of subframe 4)		2X, 4D12.4	*
* ION BETA	Ionosphere parameters B0-B3 of almanac		2X, 4D12.4	*
* DELTA-UTC: A0,A1,T,W	Almanac parameters to compute time in UTC (page 18 of subframe 4)		2D19.12, 2I9	*
	A0,A1: terms of polynomial			
	T : reference time for UTC data		*)	
	W : UTC reference week number.			
	Continuous number, not mod(1024)!			
* LEAP SECONDS	Delta time due to leap seconds		I6	*
END OF HEADER	Last record in the header section.		60X	

Records marked with \* are optional

TABLE A4			
GPS NAVIGATION MESSAGE FILE - DATA RECORD DESCRIPTION			
OBS. RECORD	DESCRIPTION		FORMAT
PRN / EPOCH / SV CLK	- Satellite PRN number		I2,
	- Epoch: Toc - Time of Clock		
	year (2 digits, padded with 0		
	if necessary)		1X,I2.2,
	month		1X,I2,
	day		1X,I2,
	hour		1X,I2,
	minute		1X,I2,
	second		F5.1,
	- SV clock bias (seconds)		3D19.12
	- SV clock drift (sec/sec)		
	- SV clock drift rate (sec/sec2)		*)

BROADCAST ORBIT - 1	- IODE Issue of Data, Ephemeris	3X, 4D19.12
	- Crs (meters)	
	- Delta n (radians/sec)	
	- M0 (radians)	
BROADCAST ORBIT - 2	- Cuc (radians)	3X, 4D19.12
	- e Eccentricity	
	- Cus (radians)	
	- sqrt(A) (sqrt(m))	
BROADCAST ORBIT - 3	- Toe Time of Ephemeris	3X, 4D19.12
	(sec of GPS week)	
	- Cic (radians)	
	- OMEGA (radians)	
	- CIS (radians)	
BROADCAST ORBIT - 4	- i0 (radians)	3X, 4D19.12
	- Crs (meters)	
	- omega (radians)	
	- OMEGA DOT (radians/sec)	
BROADCAST ORBIT - 5	- IDOT (radians/sec)	3X, 4D19.12
	- Codes on L2 channel	
	- GPS Week # (to go with TOE)	
	Continuous number, not mod(1024)!	
	- L2 P data flag	
BROADCAST ORBIT - 6	- SV accuracy (meters)	3X, 4D19.12
	- SV health (bits 17-22 w 3 sf 1)	
	- TGD (seconds)	
	- IODC Issue of Data, Clock	
BROADCAST ORBIT - 7	- Transmission time of message **)	3X, 4D19.12
	(sec of GPS week, derived e.g.	
	from Z-count in Hand Over Word (HOW)	
	- Fit interval (hours)	
	(see ICD-GPS-200, 20.3.4.4)	
	Zero if not known	
	- spare	
	- spare	

\*\*) Adjust the Transmission time of message by -604800 to refer to the reported week, if necessary.

\*) In order to account for the various compilers, E,e,D, and d are allowed letters between the fraction and exponent of all floating point numbers in the navigation message files. Zero-padded two-digit exponents are required, however.



# Literatura

Članki v zbornikih konferenc, članki v revijah, knjige:

- [1] K.Borre, D.M. Akos, N. Bertelsen, P.Rinder, S.H. Jensen, »A Software-Defined GPS and GALILEO Receiver,« New York: Birkhäuser Boston, 2007.
- [2] R.Dalibor, »Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja,« Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006: zbornik predavanj, 2007, str. 21-28.
- [3] G.T.French, »Understanding The GPS,« GeoResearch, 1996.
- [4] J.K.Ray, K.V. Kalligudd, »Development and Test Results of a Cost Effective Inverse DGPS System,« ION GPS 2001, Salt Lake City, sept. 2001.
- [5] K.Kozmus, B.Stopar, »Protokol NTRIP za prenos podatkov GNSS preko interneta,« Geodetski vestnik, 2006, letn. 50, št. 3, str. 464-471.
- [6] P. Pavlovič Prešeren, B. Stopar, »Izračun položaja GPS-satelita iz podatkov preciznih efemerid,« Geodetski vestnik, 2005, letn. 49, št. 2, str. 177-179.

Ostali viri:

- [7] Differential GPS. Dostopno na:  
<http://www.gpsinformation.org/dale/dgps.htm>
- [8] EGNOS and WAAS. Dostopno na:  
[http://www.environmental-studies.de/Precision\\_Farming/EGNOS\\_WAAS\\_\\_E/3E.html](http://www.environmental-studies.de/Precision_Farming/EGNOS_WAAS__E/3E.html)
- [9] ESA - EGNOS. Dostopno na:  
<http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>
- [10] ESA – Publications. Dostopno na:  
<http://www.egnos-pro.esa.int/sisnet/publications.html>
- [11] Federal Aviation Administration specification for the Wide Area Augmentation System (WAAS). Dostopno na:  
[http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/library/documents/media/waas/2892bC2a.pdf](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/library/documents/media/waas/2892bC2a.pdf)
- [12] GPS. Dostopno na:  
[http://cslab.cnu.ac.kr/lecture/GPS\(3\).ppt](http://cslab.cnu.ac.kr/lecture/GPS(3).ppt)
- [13] GPS explained. Dostopno na:  
<http://www.kowoma.de/en/gps/index.htm>

- [14] GPS Tutorial. Dostopno na:  
<http://www.trimble.com/gps/index.shtml>
- [15] Merske metode za spremljanje prekikov zemeljskih plazov. Dostopno na:  
[http://www.sos112.si/slo/tdocs/merske\\_metode.pdf](http://www.sos112.si/slo/tdocs/merske_metode.pdf)
- [16] Navigation Services. Dostopno na:  
[http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/)
- [17] Omrežje signal  
<http://www.gu-signal.si/>
- [18] Total Electron Content (TEC) Estimation using Single-Frequency GPS Receiver. Dostopno na:  
[http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2007/technology/TechnologyTrends/mme07\\_Sadeghi.pdf](http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2007/technology/TechnologyTrends/mme07_Sadeghi.pdf)
- [19] WAAS. Dostopno na:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/WAAS>
- [21] WAAS description. Dostopno na:  
<http://gpsinformation.net/exe/waas.html>
- [22] WAAS, EGNOS, RTCM, RTK. Dostopno na:  
<http://ruggedbits.wordpress.com/2007/10/19/waas-egnos-rtcm-rtk-and-a-sea-of-acronyms/>